平成３０年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「日常品市場向け CFRP 部品のプレス量産化技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和元年５月

担当局　　北海道経済産業局

補助事業者　一般社団法人日本金属プレス工業協会

目　次

第１章　研究開発の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
１－２　研究体制　（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者） ・・・・・・・・・・・5
１－３　成果概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
１－４　当該研究開発の連絡窓口 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
第２章　本論 ・・・8
【１．平板形状シート製作の課題への対応】 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
【1-1】オートクレーブ成形の実習
【1-2】成形用、トリミング用金型の設計・製作
【1-3】シートのプレス成形試作
【1-4】トリミング金型のバリ取り試作
【1-5】シートのプレス成形のハイサイクル化
【２．ソフトカーボンのプレス成形の課題への対応】 ・・・・・・・・・・・・・・・・9
【2-1】成形用、トリミング用金型の設計・製作
【2-2】ソフトカーボンのプレス成形の試作
【2-3】トリミング金型のバリ取り試作
【2-4】ソフトカーボンのプレス成形のハイサイクル化
【2-5】プリプレグシートを用いた立体形状のプレス成形品の試作
【３．キャスターのプレス成形および射出成形の課題への対応】 ・・・・・・・・・・19
【3-1】成形用、トリミング用金型の設計・製作
【3-2】キャスターのプレス成形および射出成形の試作
【3-3】トリミング金型のバリ取り試作
【3-4】キャスターのプレス成形および射出成形のハイサイクル化
【3-5】熱可塑性炭素繊維樹脂の最適形状の検討
【３’．自動車部品オイルパンの射出成形の課題への対応】 ・・・・・・・・・・・・・23
【3’-1】成形用金型の設計・製作
【3’-2】オイルパンの射出成形の試作
【3’-3】オイルパンの強度試験
【3’-4】オイルパンの射出成形の最適条件分析
【3’-5】オイルパン熱可塑性炭素繊維樹脂と他の樹脂材料との比較試験
【４．プレス成形での含浸度の課題への対応】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36
【4-1】含浸のプロセス分析
【4-2】ソフトカーボンのプレス成形品の含浸分析
【4-3】含浸挙動の変数最適化の検証
【4-4】含浸挙動予測モデルの確立
【５．プレス成形および射出成形での堅牢性の課題への対応】 ・・・・・・・・・・・46
【5-1】破壊発生のプロセス分析
【5-2】キャスターのプレス成形品および射出成形品の破壊分析
【5-3】破壊挙動抑制の変数最適化の検証
【5-4】破壊挙動予測モデルの確立
【補足．ソフトカーボンシートによるバッグの試作】・・・・・・・・・・・・・・・・・・52
最終章　全体総括 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54

第１章　研究開発の概要

１－１　研究開発の背景・研究目的及び目標

【研究開発の背景と目的】

軽量、高剛性で航空機部品に重用されている炭素繊維（カーボンファイバー）は、日常品でも皮革、樹脂に代わる第３の新素材として高級素材となっている。また、カーボンファイバーも牛革や鰐皮と同じく素材自体のブランド化が進み、フェイクではない本物のカーボンが高級素材としてブランド化している。

バッグメーカーは商品価値を高めるために常時新規素材を求め開発しているが、炭素繊維は樹脂でコーティングされて使用されるので、柔軟性のある樹脂をスキン材(表皮)にして炭素繊維の黒い光沢と樹脂の触感に訴えるカバン・バッグ用感性素材を開発する必要がある。

また、キャスターは旅行カバンから運搬台車まで用途が広いが、キャスターの機能で最重要課題は壊れないことである。キャスターの素材は金属と樹脂であり、荷重、走行性など機能に応じて素材を組み合わせている。バッグメーカーからは軽量、頑丈なキャスターの要望があり、スーツケースなど旅行用や日常用カバンに付けるキャスターは品質の安定性・安全性が求められている。

さらに、自動車分野では、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を車載する自動車軽量化が時流となるに従い、金属プレス部品はそれに置き換わろうとしている。プレス業界は素材の変遷に沿って技術を高度化させて対応してきたが、それは金属の世界の枠の中であった。CFRP はこれまでの世界を越えて樹脂プレスの領域を拡大し技術開発することである。旅行用カバン生地及びキャスターのプレス成形技術を開発し、次いで CFRP のプレス量産化技術及び射出成形技術に展開し、自動車部品の素材転換に備える。

【対応する高度化指針】

本研究開発は、ものづくり高度化指針の下記課題・ニーズと高度化目標を実現していくものである。

（一）デザイン開発に係る技術に関する事項

１　デザイン開発に係る技術において達成すべき高度化目標

（３）川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ア．審美性・感性価値の向上

エ．製品の安全性・品質の安定性

②高度化目標

ア．審美性・感性価値の向上

エ．製品の安全性・品質の安定性の向上

【研究開発の目標】

CFRP（炭素繊維強化プラスチック）は、従来高温高圧の容器内で成形するオートクレーブ製法が主であり、高額な設備と長時間のサイクルタイムを要するため量産化に不向きであった。本研

究開発では、金型一体加熱冷却システムを高度化して、加熱・成形・冷却・脱型のハイサイクルで、コストと品質基準を満たす国内初の CFRP 部品の量産技術を目指す。新規素材の用途開発に加えて金属プレスの境界を越えて樹脂プレス技術の新地平を切り拓く挑戦的技術開発である。

スーツケースなどの生地及びキャスターを CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を素材にしてオートクレーブ成形からプレス成形への技術開発をして日用品向け量産化技術にイノベーションを興す。CFRP プレス成形における三次元複雑形状が技術課題となる。

自動車部品への展開としては、軽量化の効果の大きいオイルパンを選定し、CFRP 射出成形による実用化を目指す。

CFRP プリプレグのシートのハイサイクル・プレス成形、CF ペレットを用いたキャスターの射出成形、プレス成形の含浸度分析では、新規データ解析によるモデルのアイデア創出を実現する。

上記の目標を達成するために、以下の開発サブテーマと具体的目標を定めて開発を推進した。

【１．平板形状シート製作の課題への対応】

【１-１】オートクレーブ成形の実習

オートクレーブ成形の実習（カティング、積層、バッギング、吸引、焼成、トリミング）で知見修得。

【１-２】成形用、トリミング用金型の設計・製作

基本的な平板形状の成形用、トリミング用金型の委託製作。

【１-３】シートのプレス成形試作

加熱冷却装置一体金型に CFRP プリプレグを積層し、厚さ１㎜、0.5 ㎜以上のボイドゼロの平板形状のプレス成形品を試作する。加熱温度、圧力の組み合わせをトライして深い含浸度を達成する。

【１-４】トリミング金型のバリ取り試作

プレス成形品の４辺のバリを取る。バリは手作業でサンディングするのが一般的だが、工程を省きコストを下げるためにプレスで行う。手作業並みの仕上げになるようサーボプレスのモーションを工夫する。

【１-５】シートのプレス成形のハイサイクル化

加熱、加圧、ストローク・下死点保持時間の４要素の組み合わせをトライして、シートを金型に置いて賦形し脱型するまでのサイクル時間を、厚さ１㎜単位でサイクル時間１分を達成する。

【２．ソフトカーボンのプレス成形の課題への対応】

【２－１】成形用、トリミング用金型の設計・製作

500 ㎜×500 ㎜のソフトカーボンを作るための成形用、バリを取るためのトリミング用金型の自社製作。

【２-２】ソフトカーボンのプレス成形の試作

ＣＦ生機とウレタン樹脂の素材構成でサイズ 500 ㎜×500 ㎜のプレス成形品を製作する。ウレタンが深く含浸すると柔らかさが無くなり、浅いと表層剥離しやすくなる。加熱温度、圧力の組み合わせをトライして最適な柔軟性を達成する。年度目標の表層剥離の防止に

該当。ウレタンは粘性が高いため融解接着するとき炭素繊維を引張り目崩れとボイドを生じるので、加熱温度、圧力の組み合わせをトライしてそれらの発生を抑える。

【2-3】トリミング金型のバリ取り試作

プレス成形品の４辺のバリを取る。繊維が金型で垂直に切れないと繊維を引張り目崩れが生じるので、サーボプレスのモーションを工夫して手作業並みの仕上げにする。

【2-4】ソフトカーボンのプレス成形のハイサイクル化

加熱、加圧、ストローク・下死点保持時間の４要素の組み合わせをトライして、シートを金型に置いて賦形し脱型するまでのサイクル時間を、厚さ１㎜単位でサイクル時間１分を達成する。ソフトカーボンの表面の綺麗さと柔らかさを維持して製作する。

【2-5】プリプレグシートを用いた立体形状のプレス成形品の試作

成形金型を製作して、熱硬化性プリプレグを用いた３次元Ｒ形状の成形品（スーツケース外装補強部品）試作を行う。加熱、加圧、ストローク・下死点保持時間の４要素の組み合わせの条件設定に加え、生機の織り方（平織・綾織）や、形状に対して織り目をどのように配置するか、などの要素を含めトライを行い、シワ・割れ・目崩れ等、外観も含めた不具合の無い成形条件を探究する。

<u>【3．キャスターのプレス成形および射出成形の課題への対応】</u>

【3-1】成形用、トリミング用金型の設計・製作

車輪直径 50 ㎜の標準的キャスター用のプレス型（プレート、フォーク）及び射出型（車軸、車輪）を自社製作する。成形用、トリミング用金型を製作する。

【3-2】キャスターのプレス成形および射出成形の試作

車輪直径 50 ㎜の標準的キャスターの成形品（プレート、フォークはプレス成形、車軸、車輪は射出成形）を製作する。ペレットを射出で成形する際、炭素繊維が金属片のように混ざっているので通常の樹脂と流れ方が異なる特性をつかみ、流動性を工夫する。射出成型で炭素繊維が偏在せず均一分散するようにスクリューの圧力を調整する。プレス成型は三次元立体形状で目崩れが生じないよう圧力のかけ方をトライする。

【3-3】トリミング金型のバリ取り試作

プレス成形品の４辺または円周のバリを取る。繊維が金型で垂直に切れないと繊維を引張り目崩れが生じるので、サーボプレスのモーションを工夫して手作業並みの仕上げにする。

【3-4】キャスターのプレス成形および射出成形のハイサイクル化

プレート、フォークについては加熱、加圧、ストローク・下死点保持時間の４要素の組み合わせをトライして、シートを金型に置いて賦形し脱型するまでのサイクル時間を、厚さ１㎜単位でサイクル時間１分を達成する。射出成型ではスクリューの高圧、高速機能を強化してサイクル時間は車軸は１分、車輪は３分を達成する。

【3-5】熱可塑性炭素繊維樹脂の最適形状の検討

炭素繊維強化樹脂を使用した射出成形加工において、射出成形時及び製品の問題の有無を調査し、熱可塑性炭素繊維樹脂を使用した製品の最適形状を検討する。特に樹脂が回りづらい、端部及び肉薄部の角において、欠落の無い形状又は使用可能範囲が設定出来れば、製品化における最適形状となる。

【3’．自動車部品オイルパンの射出成形の課題への対応】

【3’-1】成形用金型の設計・製作

大型かつ複雑形状をむらなく成形できる金型の設計。

【3’-2】オイルパンの射出成形の試作

炭素繊維の均一分散、炭素繊維の交差、先端部の炭素繊維量を達成し、かつひけ、ショートなどの問題が生じないように製品を成形する。

【3’-3】オイルパンの強度試験

鋼鉄製と同等の強度を確保するため、製品の厚さ、炭素繊維の均一分散、炭素繊維の交差の３要素の組み合わせでスペックを達成する。

【3’-4】オイルパンの射出成形の最適条件分析

材料の流動性、金型温度の分布、スクリューの回転速度の組合せで射出に特有な技術課題を解決する。

【3’-5】オイルパン熱可塑性炭素繊維樹脂と他の樹脂材料との比較試験

炭素繊維強化樹脂が他の一般的な熱可塑性樹脂と比較して、どのような優位性、又は欠点であるかを明確にすることで、材料コストに対する炭素繊維強化樹脂使用の優位性が明確となる。設計時において、この優位性を最大限生かした使用品の設計が可能となることで、商品化がより現実的となる。

【4．プレス成形での含浸度の課題への対応】

【4-1】含浸のプロセス分析

平板形状シートのプレス部品を顕微鏡で観察しボイドの画像の解析とボイド発生のシミュレーション解析をする。ＲＴＭ法実験において顕微鏡、高速度カメラで含浸プロセスおよびボイドの画像の解析、それらのシミュレーション解析をする。

【4-2】ソフトカーボンのプレス成形品の含浸分析

ソフトカーボンのプレス成型品を顕微鏡で観察しボイドの画像の解析とボイド発生の解析をする。含浸の速度、深さに関係する４変数（温度 X℃・圧力 XMPa・ストローク下死点まで 0.0X ㎜単位での降下・下死点保持時間 X 秒）の解析をする。

【4-3】含浸挙動の変数最適化の検証

プレス成形で品質を向上したソフトカーボンの実物と検証しながら、含浸の速度と深さに関係する４変数（同）の最適数値化を解析する。

【4-4】含浸挙動予測モデルの確立

実物とシミュレーション解析の比較検証を通じてウレタン樹脂の含浸挙動の予測モデルを確立する。

【5．プレス成形および射出成形での堅牢性の課題への対応】

【5-1】破壊発生のプロセス分析

プレス成型品及び射出成型品について破壊試験をし、破壊発生要因のシミュレーション解析をする。

【5-2】キャスターのプレス成形品および射出成形品の破壊分析

破壊試験データを踏まえてプレス成形では破壊挙動抑制に関係する４変数（同）のシミュレーション解析、射出成形では炭素繊維の均一分散のシミュレーション解析をする。

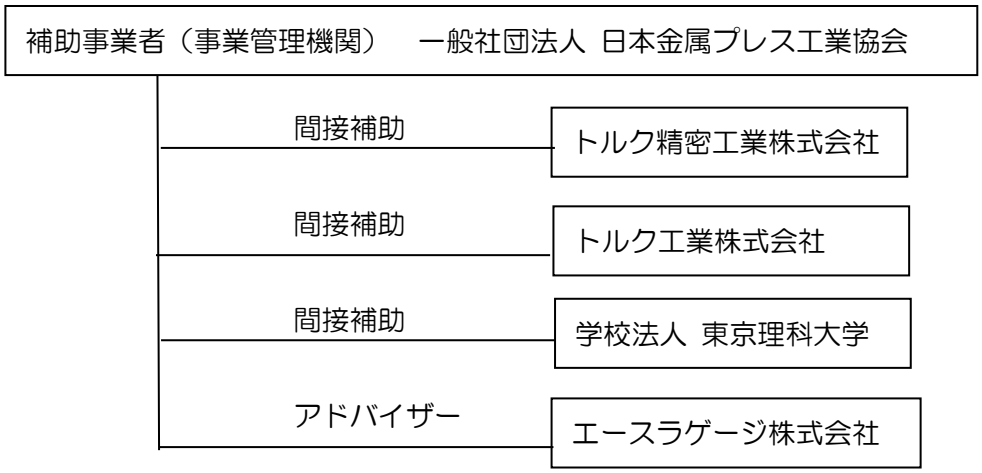
【５-３】破壊挙動抑制の変数最適化の検証

プレス成形及び射出成形で品質を向上した実物と検証しながら、プレス成形では破壊挙動抑制に関係する４変数（同）の最適数値化、射出成形では速度と圧力の最適数値化のシミュレーション解析をする。

【５-４】破壊挙動予測モデルの確立

実物とシミュレーション解析を通じてキャスターの破壊挙動の予測モデルの確立を確立する。

１－２　研究体制　（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）



【研究代表者】

・総括研究代表者（PL）：

トルク精密工業株式会社　常務取締役　髙橋　信幸

・副総括研究代表者（SL）：

学校法人東京理科大学　理工学部　機械工学科　准教授　松崎　亮介

【研究員】

トルク精密工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
高橋　新作	代表取締役社長	
髙橋　信幸	常務取締役	【1-1】、【1-2】、【1-3】、【1-4】、【1-5】、
上山　均	常務取締役	【2-2】、【2-4】、
内藤　貴康	技術部部長	【3-1】、【3-2】、【3-3】、【3-4】、【3-5】、
繁泉　孝	品質管理部長	【3’-1】、【3’-2】、【3’-3】、【3’-4】、
伊藤　嘉晃	製造部部長	【3’-5】
吉本　靖	製造部係長	

トルク工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
髙橋　伸 小笠原　厚司 深瀬　芳和 相原　克弥 伊東　将君	代表取締役社長 第一製造部　部長 第一製造部　参与 第一製造部　製造課 技術部開発設計課 課長	 【1-1】、【1-2】、【1-3】、【1-4】、【1-5】、 【2-1】、【2-2】、【2-3】、【2-4】、【2-5】、 【3-2】、【3-4】

学校法人東京理科大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
松崎　亮介 神代　大樹	准教授 修士課程１年	【4-1】、【4-2】、【4-3】、【4-4】、 【5-1】、【5-2】、【5-3】、【5-4】

【アドバイザー】

氏名	所属・役職	協力内容
新山　芳彦	エースラゲージ株式会社 取締役　開発部長	試作品の仕様提示、および試作品の評価、 市場ニーズの助言等

１－３　成果概要

（１）ソフトカーボンのプレス成形に関しては、成形時間のハイサイクル化を達成するべく加工条件を探究しつつ成形試作を実施した。外観のでき栄えを維持してのプレス成形サイクルタイムは１４０sec であったが、成形条件の最適化を図る中で、成形中の冷却時間および予熱時間の最適化がサイクルタイム縮小のキーポイントであることが分かり、開発半ばで４０sec に到達し、最終的には３０sec（t=0.47mm）と、厚さ１mmあたり６０sec の当初目標を概ね達成することができた。

（２）キャスターのプレス成形・射出成形に関しては、初年度で、キャスター部品の熱可塑性炭素繊維樹脂のハイサイクル化及び主要部のハウジングとステーの良品成形を実現したが、形状の鋭角部分に未充填部が残る課題があったため、この不具合発生の要因を調査し、熱可塑性炭素繊維樹脂を使うに当たっての最適形状の提言を商品化に向けた最終年度の目標として実施した。研究の成果として、熱可塑性炭素繊維樹脂は固化が早く、CF 繊維の浮きが見られ、鋭角となる薄肉部においては、CF 繊維が詰まることで、末端までマトリクス材(母材)が流れないことが試験にて明確となった。製品設計の最適形状としては、PP/CF(30%)材において、製品形状として鋭角となる角度は50°以上。また、50°内の鋭角が避けられない形状が必要な場合は、コーナーにR0.5を付けることで、未充填となる外観の不具合は解消できることがわかった。

本事項を最適形状の製品設計の基準として、製品設計をすることで、鋭角部に不具合の出ない部品を製作することが可能となった。

（３）自動車部品オイルパンの射出成形は、試作テスト及び試作品を評価分析し、射出成形に特

有なヒケ、倒れ・反り、かすれ、ショートといった状態が生じない、最適な成形条件を確立した。また、製品の特性(寸法、強度)にも問題の無い成形品の試作製作の実施ができた。

また、新たな課題として、熱可塑性炭素繊維樹脂には、揮発性添加剤が含まれていることから、刺激性のあるガスが発生るため、環境面より、換気装置の設置が必須となることがわかった。

他材と比較して、炭素繊維樹脂の優位性は軽量化であり、CF を添加することで、非強化材に比べて機械的性質(引張強度)は約 2 倍に強固となることがわかった。

ただし、本材の使用の最大の目的は軽量化ではあるが、材料価格が高いため、軽量化によるコストメリットが出ないこと及び CF 強化樹脂材と他の樹脂材料が機能及び重量の面で差が無いため、材料価格に対する優位となる特徴は見出せていない。そこで、異種材との複合加工により、CF 材と汎用樹脂材の両者の利点を活かせる部品への展開が今後は主力となると予想される。

（4）プレス成形での含浸度に関しては、含浸成形条件によって、材料の板厚を始めとした成形品質が大きな影響をうけることを確認した。また、気泡と板厚の不均一分布が確認された。これは、積層した繊維材のヨレやシワによって、繊維材がみだれており、生じた空間に樹脂が溜まり厚さが変化した可能性がある。したがって、繊維体積含有率や気泡の品質を保証するためには、繊維材の織り構造の乱れを予測・制御することが、重要な技術となることを明らかにした。

さらに、ドライファブリックの機械的挙動を再現する方法として「Bias-extension test」を行ない、理論では再現できない繊維材のロック現象をシミュレーションで再現した。また、120mm ×120mm の平織り、綾織りの繊維材モデルで、半球状のプレスシミュレーションを実施した。各種条件でシミュレーションとプレス実験の結果を比較し、外形および各位置でのせん断角度の傾向が一致していることにより、繊維材賦形時の挙動をシミュレーションできることを確認した。

（5）プレス成形・射出成形での堅牢性に関しては、トルク精密工業（株）から提供された各種成形サンプルの力学的評価を行い、CF が比強度、比剛性に優れるが、凹凸部が残り、応力集中が起こりやすいことを明らかにした。ただし、試験片はオイルパンの実際の成形品から切り出しているため、統計的なデータが取れるほどの試験は難しく、力学的特性のばらつきなどについては考慮されていないことに注意する必要がある。

また、トルク工業(株)から提供された CFRP プレート破壊試験の結果から、破壊挙動を予測するためには、破壊挙動予測モデルの変数としてプライ数を導入し、プライ数が偶数の場合には剥離破壊モードを表現する必要があることがわかった。

１－４　当該研究開発の連絡窓口

【事業管理機関】
一般社団法人 日本金属プレス工業協会　事務局長　小林　範子
電話：03-3433-3730　FAX：03-3433-7505　E-mail：kobayashi@nikkin.or.jp
【研究開発機関】
トルク精密工業株式会社　常務取締役　髙橋　信幸
電話：0125-32-5222　FAX：0125-32-5362
E-mail：nobuyuki.takahashi@torc-p.co.jp

第２章　本論

【１．平板形状シート製作の課題への対応】

【1-1】オートクレーブ成形の実習

平成 28 年 10 月～12 月で 60 日間研修を受け、トルク精密工業およびトルク工業の研修生が CFRP オートクレーブ成形マイスター3 級修了証書を NPO 法人日本モノづくり学会から授与された。

【1-2】成形用、トリミング用金型の設計・製作

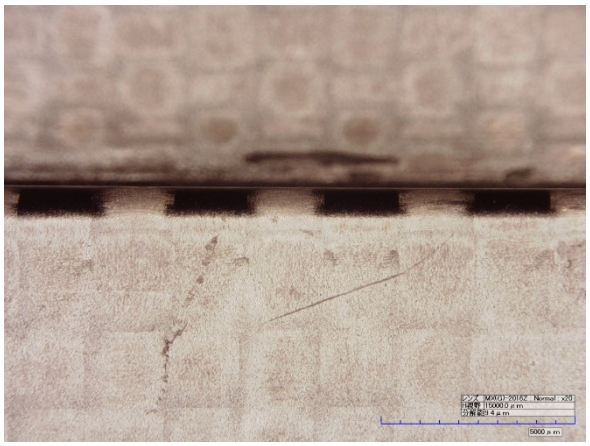
成型用金型を設計し製作した。トリミング金型は、（株）The MOT Company が使用しているガバリ（gabarit,フランス語で英語の template にあたる型枠板）を用いることで樹脂の流れが防げられることが分かったので、初期段階の平板形状には必要ないことが判明した。

【1-3】シートのプレス成形試作

CFRP プリプレグ（シート）の平板形状のサンプルを製作した。含浸は深化し、ボイドはゼロで品質も合格である。

シート平板形状の品質向上（含浸度、ボイドの大きさと残存数）では、マイクロスコープで表面のボイド状態を観察した（写真１参照）。1.5mm 範囲を分解能 9.4μm で観察した状態ではボイドはない。ただし、ボイドは積層構造について検証する必要があり、同時に含浸度も観察できるＸ線 CT 装置で実施した（写真２参照）。

写真１：マイクロスコープ観察（都立産業技術研究センター）。ボイドは黒丸で表示されるので存在していない。ボイドの状態写像を参考に付す。



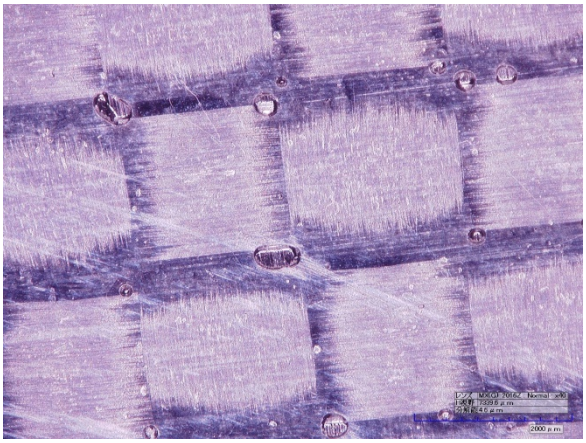
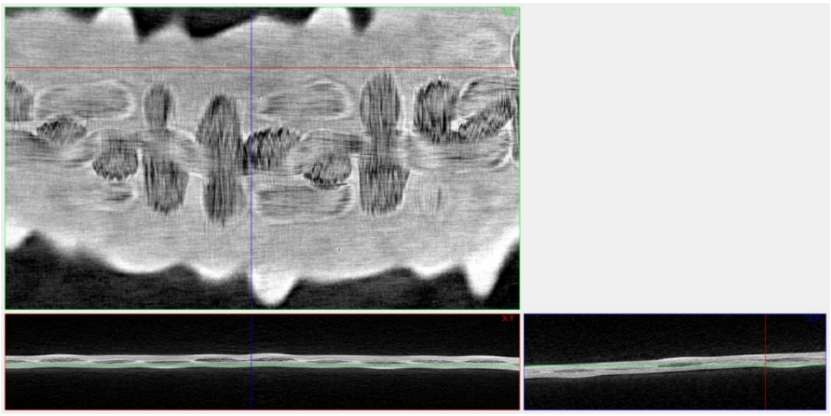


写真２：Ｘ線 CT 観察、分解能 10μm（都立産業技術研究センター）。縦と横でクロスしているのが炭素繊維で、ウレタンが上下に隙間なく含浸している。ボイドは黒丸で表示されるので、10μm 以上のボイドは存在しないことがわかる。



【1-4】トリミング金型のバリ取り試作

トリミング金型の設計および製作を完了し、【2-3】のトリミング金型のバリ取り試作を実施した。

【1-5】シートのプレス成形のハイサイクル化

厚さ 1mm に対して 1 分のハイサイクル（成形から脱型までの時間）を達成した。

試作段階では冷却に 1 分間かけて脱型している。量産段階では金型がパンチプレートからスライドして循環するので冷却脱型は数秒となるので、成形時間が 1 分以内なら目標達成となる。

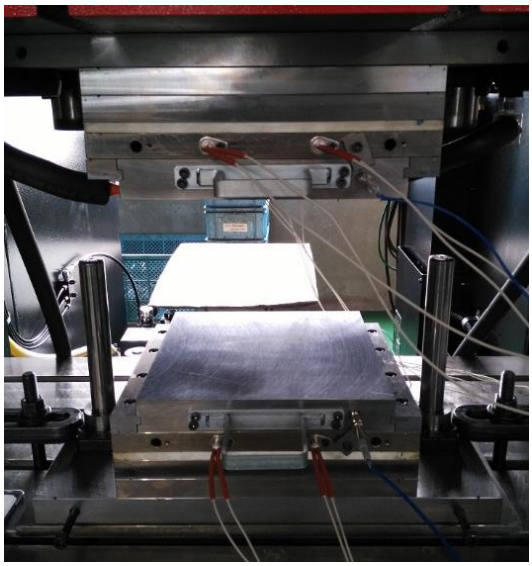
ハイサイクルのプログラムは次の通りであるが、プレスのソフトによってプログラミングは一部変更される。

ハイサイクルのプログラム(サンプル厚 t 1.0)			
スライドの下死点からの距離（mm）	加熱温度（℃）	加熱時間（sec）	冷却エア
0．50	130	5	
0．10	130	5	
0．00	130	50	
0．20～0．50	―	30	左右からパーティングラインに吹き付ける

<u>【2．ソフトカーボンのプレス成形の課題への対応】</u>

【2-1】成形用、トリミング用金型の設計・製作

・成形型（寸法：290×290）、トリミング型（寸法：230×230）とも完成した。



成形型　290×290

トリミング型　230×230

【2-2】ソフトカーボンのプレス成形の試作

・成形温度、停止時間、ピーク荷重をパラメータとして、成形試作を行なった結果、一部に目崩れ、ボイド、しわが発生するため、最適な条件を探索した。

・導入したプレス内蔵式荷重計、荷重解析ソフトにより、プレス成形中の荷重の変化が細かく見えるので、これらを参考に最適化の検討を進めた。

・ソフトカーボン材で実際にスーツケース用スパンを作り検証した。一次試作で製作は可能であることを確認した。二次試作で角部折り返しにシワが発生する問題点があることが判明したが、裏面への PE 発泡材接着により対策可能である。ソフトカーボンでも従来の生地同様に加工が可能であることを確認できた。

１）適用材料：

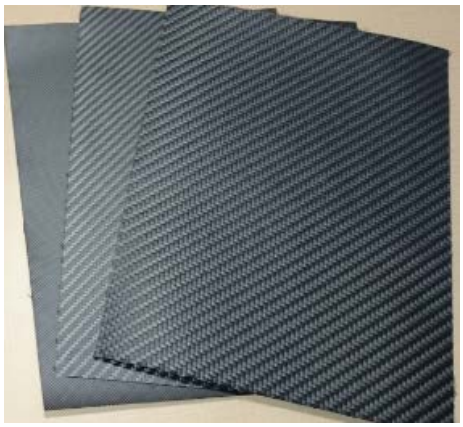
ソフトカーボンシート

（株式会社 The MOT Company 提供材）

1,000mm×1,000mm×0.47mm

写真はトライ端材 180mm×280mm

サイズ【重量：28.4g　→　目付重量：526 g/㎡】



２）試作結果：

A)タイプを２本、B）タイプを３本、２次試作として製作した。

矢印はシワ発生箇所を示す。

・A）タイプ　完成品重量：2.4kg

・B）タイプ　完成品重量：3.0kg

３）成果と課題：

・ほぼ、従来の生地同様に加工が可能であることが確認できた。

・軽量化については、既に使用している素材も軽量であるため、ケースの軽量化には貢献できない見込みである。

・ソフトカーボンのみでは、縫製時及び返し（縫製後に内外をひっくり返す）後にシワの発生を抑制できない。　⇒PE 発泡材を裏面に接着し、表面に発生するシワを抑制することができる。

・PE 発泡材接着加工は材料費を含んで、≒￥800/m、加工ロット：Min 100m なので、大きなコストアップにはならない。

・基材のカーボンの織りムラによる透け　⇒外観品質の一様性が低下する。

⇒製織時の織りムラ解消が第一だが、裏加工により視認性の低減が可能と考えられる。

・素材として高額な（売価が高くなる）ため、一般的なソフトトロリーケースほど販売数量が期待できない分、利益率は高く、納入率は低くならざるを得ないので、販売価格は原価に対し 4.5～5 倍程度が想定される。

・高額である分、「カーボン」と言う以外に機能的な優位性が求められる。

・販売会社であるエース㈱へサンプル提示によるプレゼンテーションにより、採否の見込みを問い合わせ、今後の展望を確認する。

⇒表面のシワなど完成度の低さが採否へ大きく影響することがあるので、再製作も検討する。

⇒ブランド・販売チャネル・仕様（性能・機能）と価格の妥当性の検証等々

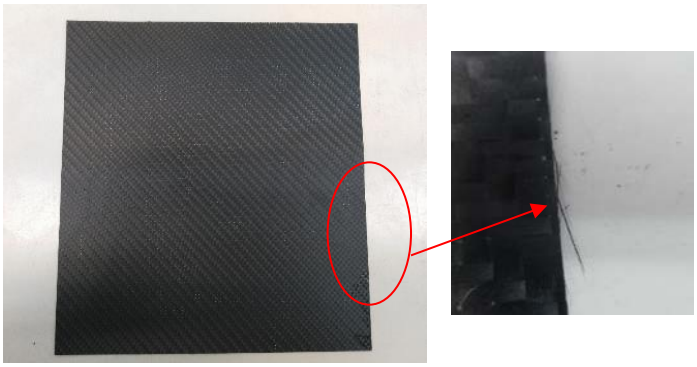
【2-3】トリミング金型のバリ取り試作

・研究課題：サーボプレスモーションを工夫し、ケバ立ち、目崩れのない手作業並みの仕上げにする。

１）【T1】クランクモーション　（標準的な加工モーション）、ソフトモーション　（加工開始前に速度 50%減速）２パターンのモーションをトライした。

・金型；ソフトカーボントリミング型

加工モーション	ストローク数	ケバ立ち発生
クランクモーション	60	有
クランクモーション	30	有
ソフトモーション	60	有
ソフトモーション	30	有
結果 モーションおよび加工速度による変化なし。 ケバ立ちは部分的に発生し、同一箇所ではない。		



・結果：ケバ立ち発生あり。→理由：繊維が金型の隙間（クリアランス）に入り込む

2）【T2】素材織り目と切断方向の影響を確認した。

・異形形状（モーターコア打ち抜き金型）にてケバ立ちの発生を確認した。

・織り目に対し、切断方向の違いを比較。

・異形形状で素材織り目と切断方向の影響を確認。

・加工条件：・金型クリアランス　0.015mm
・クランクモーション
・ストローク数　60min-1

・結果：ケバ立ちは織り目とトリミングが平行となる部分に発生した。
→理由：T1 同様、繊維が金型の隙間（クリアランス）に入り込む。

異形形状サンプル

3）クリアランスの影響を受けないよう、トムソン型を使用し、素材織り目に対し異なった切断方向のサンプルを比較した。

・結果：

サンプル①：切断時にはケバ立ちが無いが、端面に触れると繊維がほつれる。

サンプル②：織り目と平行になる部分が無い状態で切断を行った結果、ケバ立ちは発生しない。

４）結果のまとめ：

・トリミング時のケバ立ちに対し加工モーションおよび加工速度の影響はないことが分かった。金型の隙間 （クリアランス）に繊維が入り込みケバ立ちが発生する要因が大きい。したがって、金型隙間がないトムソン型ではケバ立ちは発生しない。また、織り目とトリミングが平行となる部分がないサンプルではケバ立ちは発生しないことが分かった。

【2-4】ソフトカーボンのプレス成形のハイサイクル化

（１）目的：

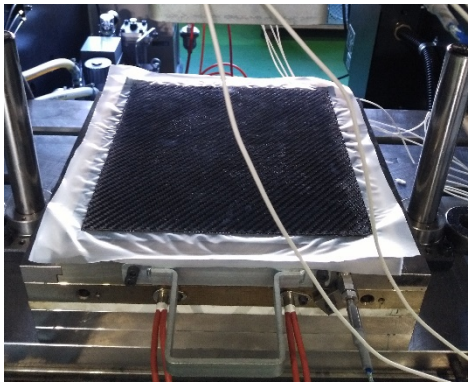
ソフトカーボンのプレス成形において、シートを金型に置いてから成形、脱型するまでのサイクル時間を短縮する。加熱、加圧、ストローク、下死点保持時間の４要素の最適組み合わせを探求し、厚さ１㎜単位でサイクル時間１分を達成する。さらに、ソフトカーボンの表面の綺麗さと柔らかさを維持して製作する。

（２）実施内容：

１）成形条件のトライ①：

【積層状態】生機（CF 生地）を離型フィルムで挟み、更にプリプレグで成形された CFRP カーボンプレートで挟む。（※カーボンプレートは、離型フィルムのシワ転写防止と熱伝導を和らげる効果がある。）

【金型に材料をセットした状態】



【温度調整コントローラーをヒーターに接続する】

【加熱、加圧、ストローク、時間の 4 要素を表した条件表】

T9				
実測温度	DH	位置	停止時間	ピーク荷重（×10kN）
110	335.35	140.0	0	
		0.1	20	
		0.0	60	2.5
		0.2	60	（冷却）
			140	

・モーション変更なし
・カーボン板上下あり
・成形温度調整（20度下げる）
・しわがなくなり改善された

・実測温度・・・・・金型の表面温度(℃)
・DH（ダイハイト）・・プレスに金型を取り付ける高さ(mm)
・位置・・・・・・・下死点からの高さ(mm)
・停止時間・・・・・各工程の停止時間（sec）
・ピーク荷重・・・下死点でかかった荷重（×10kN）

・ハイサイクル化を進める上では、改善された表面の状態を維持しつつストローク（スライド位置）、加熱、加圧時間の最適な組み合わせがポイントとなる。荷重解析ソフトを用いて解析し、サイクル時間短縮を目指した。
・下死点での保持時間と冷却時間を短縮し、温度、スライド位置のパラメータを調整することで、成形時間 40 秒を暫定目標にトライを行った。

T1				
設定温度	DH	位置	時間	圧力
110	335.70	0.1	15	4
		0.0	15	11
		0.2	10	0
				（冷却）
			40	
上面は良好だが下面は中央部ボイド？有				

T2				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
105	335.63	0.1	15	6
		0.0	15	17
		0.2	10	0
				（冷却）
			40	
下面のボイドは減少したが、上面の外周部強圧により目が膨張しているような形跡				

T3				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
120	335.70	0.1	15	8
		0.0	15	21
		0.2	10	2
				（冷却）
			40	
温度を上げた為、プレート熱膨張？圧力異常値　ウレタンが溶けて表面は凹凸が多くなった				

T4				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
120	335.85	0.1	15	2
		0.0	15	11
		0.2	10	0
				（冷却）
			40	
ウレタンが溶ける事はなく、上面はOK下面の中央部に多少凹凸が残る更に温度を上げるトライを実施する				

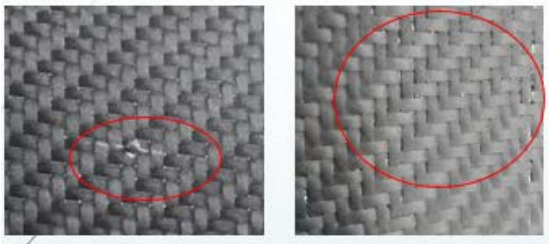
・モーション作成・荷重計など本事業にて導入したサーボプレス特有の機能を活用し、ハイサイクルの実現に向けた試作を繰り返し実施した。

予熱位置を変更しボイドが改善

T5				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
130	335.85	0.1	15	6
		0.0	15	16
		0.2	10	0
				（冷却）
			40	
温度を上げた事による熱膨張 熱膨張を考慮しダイハイトを0.1上げる				

T6				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
130	335.95	0.1	15	2
		0.0	15	9
		0.2	10	0
				（冷却）
			40	
両面とも凹凸はほぼ無し 下面のボイドも広い範囲でうっすら出ている程度 予熱の位置を上げてボイドの原因である 空気を徐々に抜いていくモーションにする事でボイドが直っていくか検証する				

T7				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
130	335.95	0.4	20	0
		0.0	15	9
		0.2	10	0
				（冷却）
			45	
ボイドは無くなり、見た目は大きく改善 手で触ると少し生機の凹凸の感触が残るので、まだ少し改善の余地は有り				



Ｔ1～Ｔ6に発生した表面状態

Ｔ7　サンプル
成形時間45秒
ボイドなし、凸凹が若干あるが外観良好

2）トライ①の結果：

・予熱開始位置（0.1→0.4 に変更）が重要であり、予熱開始から空気を徐々に抜いていくモーションにする事でボイドが解消されることがわかった。

・目標時間 40 秒に対しＴ7 は 45 秒（厚さ 0.47mm）となったが前回までのトライにくらべ大幅に時間短縮ができた。

・成形サイクル時間１分／厚さ１mmの最終目標に対し、この段階では達成度 62%である。

3）成形条件のトライ②：

目標達成に向けて、予熱停止工程を　２０sec→５sec へ短縮した。

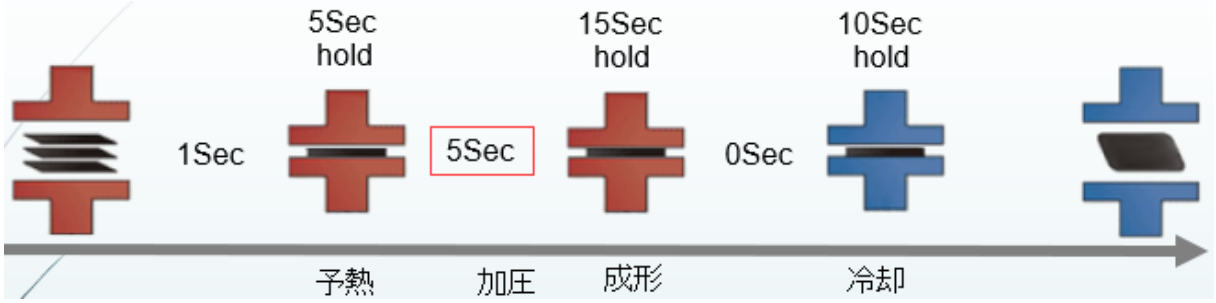
T7

設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
130	335.95	0.4	20	0
		0.0	15	9
		0.2	10	0
				(冷却)
			45	

トライ結果

設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
130	335.95	0.4	5	0
		0.0	15	9
		0.2	10	0
				(冷却)
			30	

前回最終トライ条件



4）トライ②の結果：

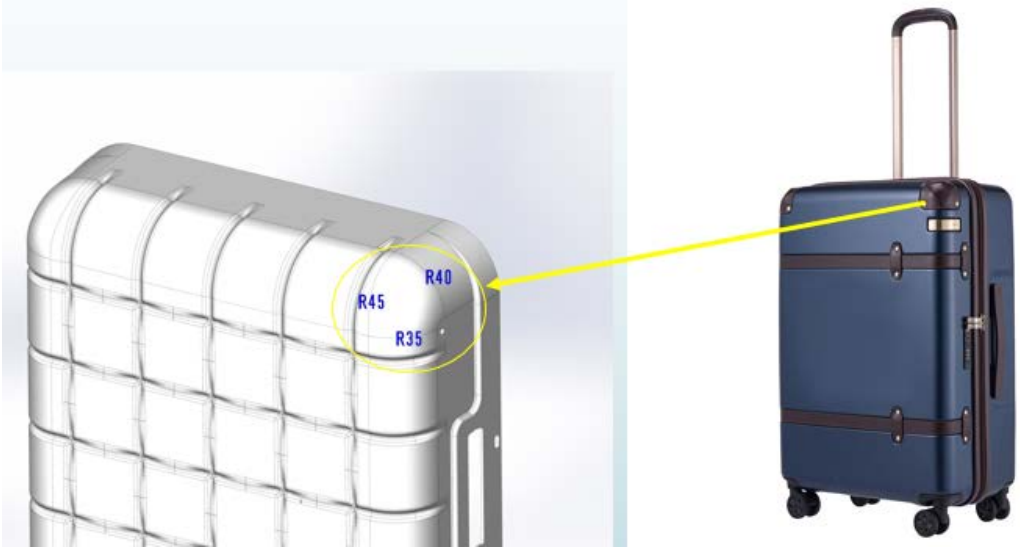
予熱停止時間 20 秒から５秒まで短縮でき、その結果、成形時間 30 秒（ｔ0.47mm）を達成し

た。なお、表面外観は前回最終トライ品と同等である。
【課題】
・表面に若干凹凸の感触が残る点については、成形金型上の温度分布を可視化、調整して改善する。

（３）結果：
　これまでは成形時間よりも仕上がりの外観を重点にトライを実施していたが、新たな材料を入手し、外観とともに成形時間短縮を目標にトライを実施し、ボイドの解消と成形時間の大幅短縮（30 秒(t 0.47mm)）を実現し、当初目標を概ね達成することができた。
　加熱、加圧、ストローク、時間の４要素、相互の関連を確認していくことで、工程ごとの必要十分な時間を見極め、時間短縮を実現することができた。また、荷重がかからない位置で予熱を開始し空気を徐々に抜いていくモーション（サーボプレスでなければ不可能）にすることがボイド解消に有効なことがわかった。

【2-5】プリプレグシートを用いた立体形状のプレス成形品の試作
（１）目的：
　成形金型を製作して、熱硬化性プリプレグを用いた３次元形状の成形品(スーツケース部品等)試作を行う。試作を通してシワ・目崩れ等、不具合の無い成形条件を探究する。

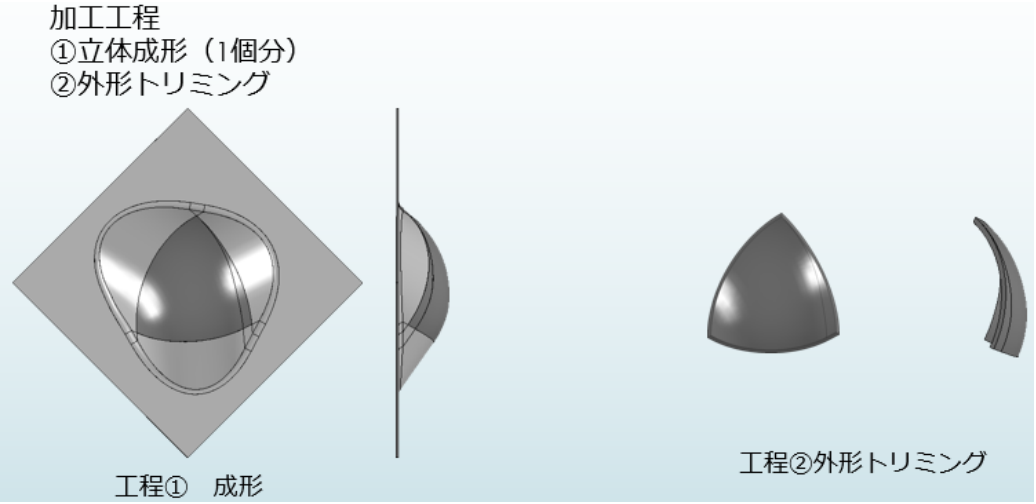
（２）実施内容：
　成形金型を検討・製作し、熱硬化性プリプレグを用いた３次元形状の成形品（下記例：スーツケースのコーナープロテクター）を試作した。



１）成形品の検討：
　アドバイザーであるエースラゲージ（株）殿より、現行販売品スーツケースの３次元データの提供を受け、コーナー部分に合う補強部品（コーナープロテクター）の設計を行った。

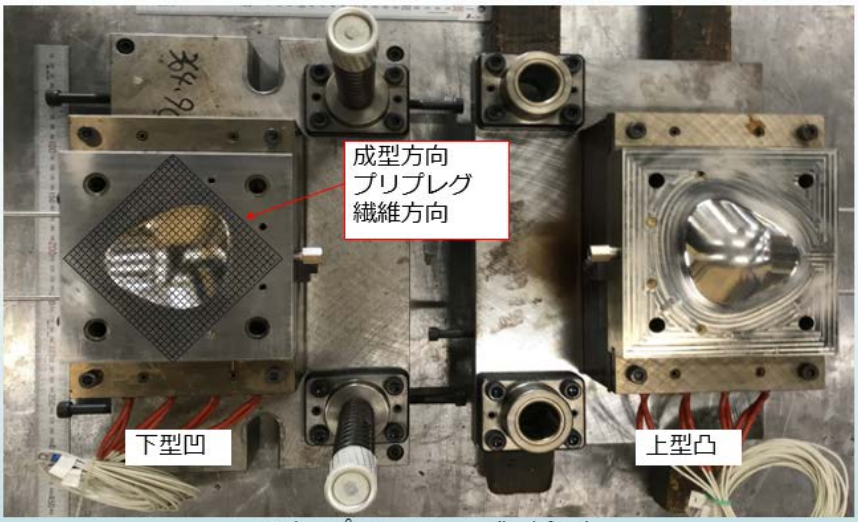
２）成形金型の検討：

コーナープロテクターの金型初期形状（４個分を一度に成形後切断）では、成形深さが 30mm となる。成形深さが 30mm となると、割れ、しわが大きく発生することが予想されるため、試作品１個分の成形金型構造で金型製作を進めることにした。



３）製作した成形金型：

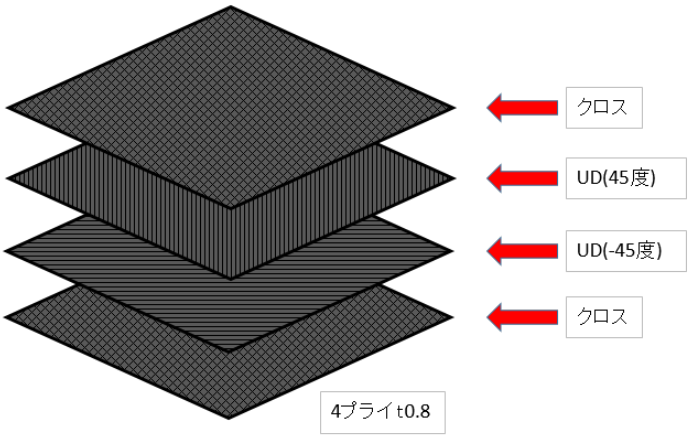
加熱冷却装置を金型に装着し、材料を加熱、成形、冷却、脱型のサイクルで加工した。



カバープロテクター成形金型

4）積層方法等の検討：

プリプレグ積層方法、生地の織り方、形状に対して織り目をどのように配置するか、など試作を通してシワ・割れ等不具合の無い成形条件を探究した。



5）プレス成形のトライ：

成形品が異形であるため把握しづらいが、積層の方向によりシワや目崩れが発生する場合がある。

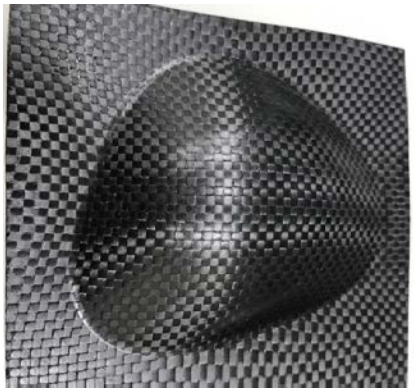
・成形条件は右記の通りである。

トライ結果				
設定温度	DH	位置	停止時間	圧力
135	363.45	50.0	0	0
		0.4	20	2
		0.0	60	16
		0.1	60	(冷却)
			140	

6）成形トライ結果：

クロス、UD、UD、クロスの４プライにてトライした。その結果、懸念点のしわ、割れの発生はなく良好な試作品が製作できた。

凹側

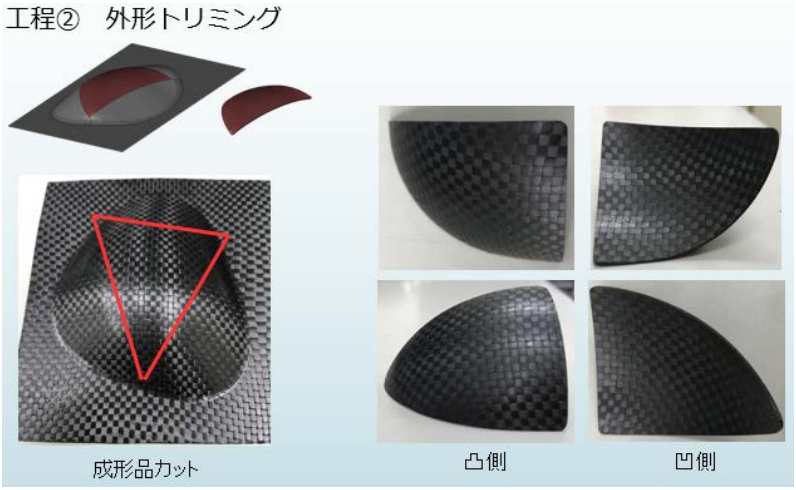


凸側

7）外形トリミング：

・トライ品をハサミでカットし切断面をサンドペーパーで仕上げた場合、部品が立体形状のため、カット時に抵抗が大きく形状が変形する。

・変形を防止するため超音波カッターにて切断し、切断面は精密リューターでの仕上げにより精度のよい仕上げが可能となった。



（3）結果：

CFRP プリプレグを立体形状にプレス成形するため、プレス成形用金型の構造を検討・製作し、良好な外観品質と機械的強度を確保するための積層と成形条件の探究に取り組んだ。立体形状特有の予測される不具合現象（シワ、目崩れ、割れ）を克服するため成形試作を繰り返し、良好な外観を得ることができた。また、成形後の形状切り取りに関して、トリミング金型を製作せずに高精度の切り離しと端面仕上げを行うため、超音波カッターと精密リューターを導入し試作品を完成させた。

【3．キャスターのプレス成形および射出成形の課題への対応】

【3-1】成形用、トリミング用金型の設計・製作

成果：射出成形用金型を設計、製作した。トリミング用金型は設計を終了した。

【3-2】キャスターのプレス成形および射出成形の試作

軽量化を確認。

従来品　重量	166.28 g
ハウジング	50.80
ステー	20.39
ベース	32.92
その他	62.17
CFRP試作品	131.45 g
	34.83　gの軽量化を達成。
⇩	(21%)

更に、CFRPの特性を利用することで、

1.インサートねじ一体成形とする。
　加工工数の削減及び軽量化

2.ホィールブッシュをPP-CFRP化することで、
　ブッシュとステーの熱溶着を防ぐことが出来る
　ため、軸受けメタルの廃止が可能。

オールCFRPとした場合の想定重量
　113g　/32%の軽量化が可能と推測する。

【結果のまとめ】

・CFRP キャスター射出成形試作では、東レのペレット（トレカ TLP8169　長繊維 CF 含有率 30%）で試作し、品質は良好である。

・課題は１つだけで、ステーの先端部にヒケがある（下記写真参照）。先端部にも炭素繊維は入り込んでいるが、ＰＰ樹脂が炭素繊維の間を抜けきれない部分がある。

なお、商品化においては、形状的に先端部の形状を鋭角としない（フラットにする）こと、およびコーナーＲを付けることで、品質問題はクリアする。

キャスターステー

ステー先端部

【3-3】トリミング金型のバリ取り試作

・キャスターには、射出成形品とプレス成形品があり、トリミング金型のバリ取り試作は、プレス成形品の項目となる。

・CFRP のプリプレグをプレス成形し平板を製作した。トリミング金型を製作し、プレスによる打抜きを実施した結果、バリの無い、良好な切断面を得ることが出来た。

【3-4】キャスターのプレス成形および射出成形のハイサイクル化

（1）目的：

プレス成形は材料を金型に置いてから賦形し脱型するまでの、射出成形は材料溶解から脱型までのサイクル時間を短縮する。加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の 4 要素の最適組み合わせを探究する。

（2）実施内容：

射出成形用金型の設計・製作を実施し、ハウジングとステーは、東レの熱可塑性長繊維 CF 強化 PP（CF30%）を使用し、射出成形により、品質良好の試作品を製作した。

スーツケース用キャスター試作品

部品	既存品 重量(g)	PP-CF30 (g)	軽量化率
ハウジング	33.02	31.47	5%
ステー	20.39	20.03	2%
ベース	45.03	12.65	**72%**
その他	67.26	67.26	
A'SSY品	165.7	131.41	**21%**

⇒21%の軽量化を達成。

ハウジング　試作成形品

ステー　試作成形品

（３）結果：

CF 材は、熱伝導率が大きい（従来樹脂の約 10 倍）ので冷却が速いため、成形中の樹脂の流れが悪くなる課題もある。また、溶融樹脂の固化が速いため、特にウエルド部及び鋭角となる薄肉部においては、マトリクス材(母材)より、CF 繊維が浮き出たまま射出圧により押し込まれるため、この CF 繊維が壁となり、末端までマトリクス材(母材)が流れなくなることで、ショートが発生したり、ウエルド部では CF 繊維が均一に分散しないことで、盛り上がりが線状として現れる。

外観的な若干の問題は発生したが、成形条件を探索して成形できる基本条件を見出し、ハイサイクル化を達成した。

本試作にて、熱可塑性炭素繊維樹脂の特徴として、軽量化できる、成形後の収縮が少ない、反り・変形が少ない、表面の光沢がない（デザイン上の好み）ことが実証できた。

また、熱可塑性炭素繊維樹脂の射出成形加工における問題点(ウエルド及びショート)も明確となったことから、これらの問題点の解決に向けた研究開発を実施し、熱可塑性炭素繊維樹脂の使用に当たっての最適形状の提言を行う成果を達成した。

【3-5】熱可塑性炭素繊維樹脂の最適形状の検討

（１）目的：

射出成形時及び製品の問題の有無を調査し、熱可塑性炭素繊維樹脂を使用した製品の最適形状を検討する。

特に樹脂が回りづらい、端部及び肉薄部の角において、欠落の無い形状又は使用可能範囲が設定できれば、製品化における最適形状となる。

（２）実施内容：

１）熱可塑性炭素繊維樹脂キャスターの量産化の問題点：

鋭角部は、樹脂が回らないため、カスレが発生。

（長炭素繊維が金型空間を塞ぐために樹脂が回らない）

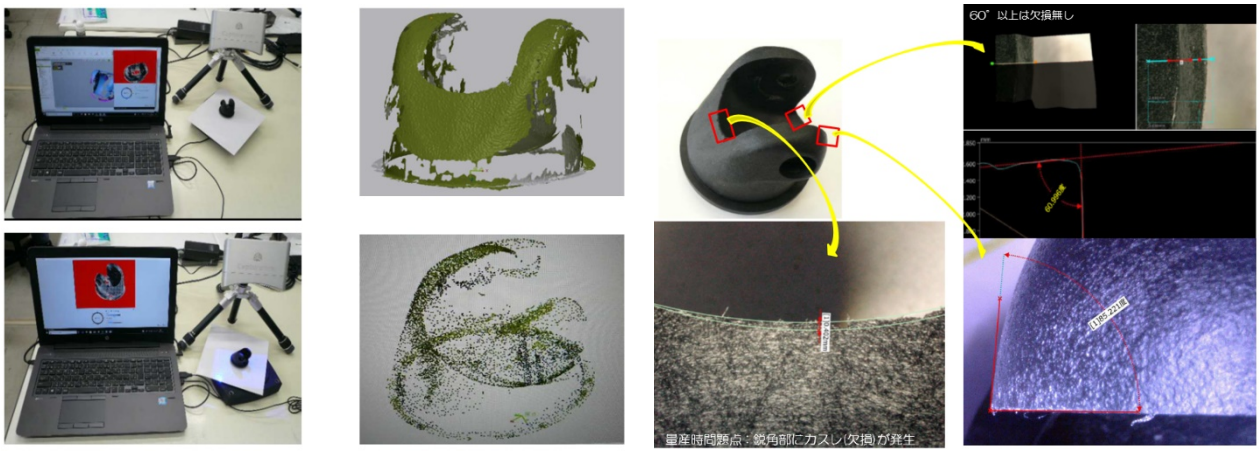
鋭角形状にならない様に設計時に注意が必要である。

２）最適形状の検討：

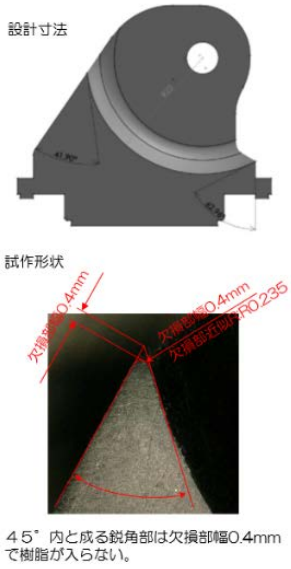
射出成形時及び製品の問題の有無を調査し、熱可塑性炭素繊維樹脂を使用した製品の最適形状を検討する。

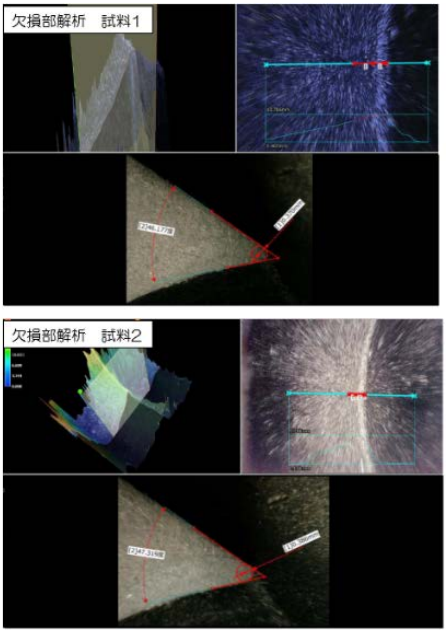
・炭素繊維樹脂が回りづらい、端部及び肉薄部の角において、欠落の無い形状又は使用可能範囲が設定できれば、製品化における最適形状となる。

・製品の良否部を調査し比較検討した。

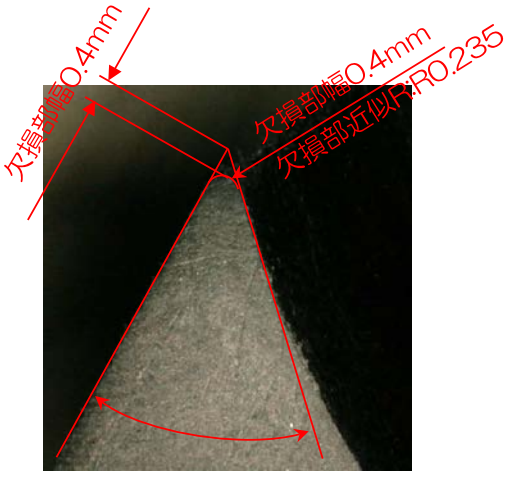


・設計寸法と試作形状：





・測定結果：



	角度	欠損部近似R
試料1	46.177	0.370
試料2	47.319	0.386
平均	46.748	0.378

	角度	欠損部近似R
最適形状	５０°以上	R0.5以上

・長繊維 CF 強化 PP(CF30%)樹脂の最適形状への提言：

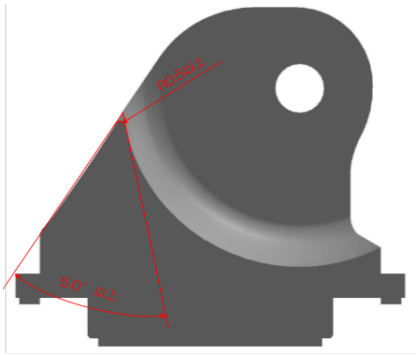
(使用樹脂　東レ　：熱可塑性炭素繊維強化樹脂
トレカ　TLP8169)　(Φ1.9X6.85)

（１）形状で 50°内と成る鋭角部は避ける。

鋭角な形状部は炭素繊維が詰り、樹脂の流れを阻害し、欠損(ショート)が発生する。欠損を発生させないためには、50°以上の角度とする。

（２）鋭角が避けられない場合、角に 0.5 以上の R を取る。

鋭角部の角に R0.5 の丸みを付けること欠陥ショート)を防ぐことができる。



【注記】：適正な射出成形条件を基本としているので、不適切な射出成形条件下ではバラツキが大きくなり、上記の基準を大きく取る必要がある。

（３）結果：

熱可塑性炭素繊維樹脂において、鋭角部は、マトリクス材よりフィラーが浮き出ることで、溶融樹脂の流動が阻害され、未充填部が発生する。この不具合は、成形条件では解決できないため、形状の提言を行い、不具合の発生を防ぐこととした。

結果としては、熱可塑性炭素繊維樹脂 PP/CF(30%)材にて、鋭角となる角度を 50°以上とすることで、また、どうしても、50°内の鋭角を付けなくてはならない形状の場合、R0.5 以上を取ることで、未充填部を回避することができ、良好な形状を出すことが可能となる。以上を熱可塑性炭素繊維樹脂を使うに当たっての設計基準の提言とする。

【3’．自動車部品オイルパンの射出成形の課題への対応】

【3’-1】成形用金型の設計・製作

・オイルパンはエンジン下部に設けられたエンジンオイルをためておく一種の蓋で、軽量化の効果も大きいので開発対象に選定した。

・オイルパンは立体形状で深さがあり、横腹にドレインボルト用穴と縁周りにボルトナットの穴を開けるので、炭素繊維が全体にわたって均一分散することが技術課題となる。強度強化を狙って、炭素繊維がクロスで絡むように配向性も改良する。クロスの炭素繊維は先端に行くほど流動性が落ち、炭素繊維が少ない部分は強度が弱くなる。縁周辺部はボルトナットの穴が開き、かつ先端部なので強度確保が達成目標となる。

１）オイルパン形状を視覚的に捉えるため、3D モデルを製作した。

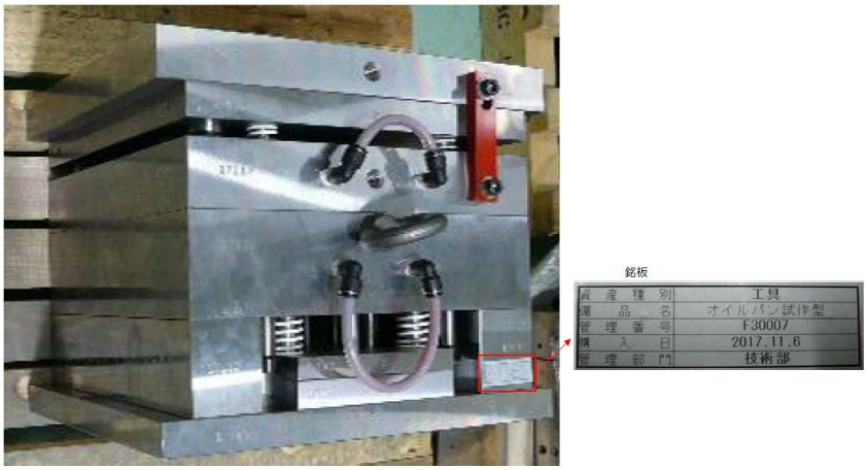
2）オイルパンをＣＦペレットの射出成形で製作するための金型を製作した。

・今回のオイルパン試作金型の特徴：

①ゲート径、ゲート長さを変え、樹脂の流れを変えられる。（X-Y 交差がノウハウ）

②肉厚を変えられる。

→最適製品肉厚及び形状と、最適成形条件の確立を図る。



オイルパン試作金型

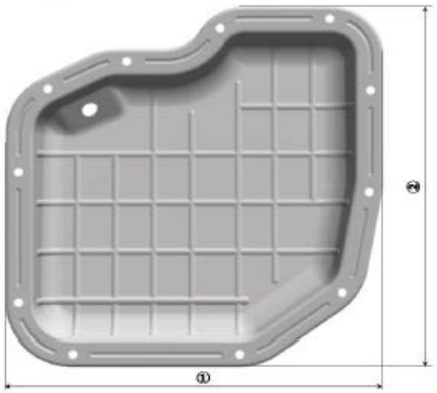
【3’-2】オイルパンの射出成形の試作

・試作樹脂材料：東レのトレカⓇペレット（長繊維 CF 強化 PP（CF30%）使用

1）試作サンプル１（肉厚 1.0mm）

試作サンプル　肉厚　1.0mm

測定箇所



2018-2-2再測定

トライ結果(収縮率)

	①	②
型寸法	229.935	230.736
試作品	229.652	230.250
差	0.283	0.486
収縮率	0.12%	0.21%

結果　：メーカー提示のカタログ値と成る。

参考:カタログ値

成形収縮率(流れ方向)	0.1 %
成形収縮率(直角方向)	0.2 %

【結果】

・100%充填の結果、穴部のウェルド割れおよび縁部のカスレはない。

・肉厚 1.0mm の試作サンプルの収縮率は、再測定の結果、流れ方向①で 0.12%、流れ直角方向②で 0.21%となり、メーカー提示カタログ値：流れ方向 0.1%、直角方向 0.2%とほぼ同じとなった。これは成形条件が適正であることを示す。

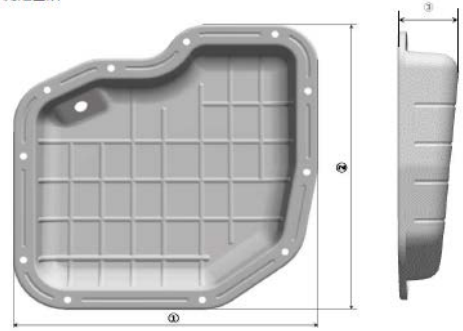
2）試作サンプル２（肉厚 2.0mm）

2018-1-30 T1試作　肉厚2.0mm
製品重量　：125.6g

試作サンプル写真

試作材
東レ　：トレカ　TLP8169
長繊維CF強化PP(CF30)
Φ1.9X6.85L

測定箇所



トライ結果(収縮率)
A:穴部のウエルド割れ及び縁部のカスレはない。

B:寸法精度　(収縮率調査)

	①	②	③
型寸法	229.935	230.736	48.725
試作品	229.238	230.055	48.715
差	0.697	0.681	0.010
収縮率	0.30%	0.30%	0.02%

結果　：　肉厚が厚くなったことで、収縮率も増加した結果と成った。
一見すると、収縮率は肉厚に比例している様だが、測定サンプル数がすくないため、未だ結論は出せない。
次期の計画に検証を行うかは検討中。

【結果】

・肉厚 2.0mm の試作トライを実施し、試作サンプルの収縮率は、流れ方向①で 0.30%、流れ直角方向②で 0.30%となり、収縮率は肉厚に比例して見えるが、今後サンプル数を増やして確認する。

【3’-3】オイルパンの強度試験

・まず表面観察試験を実施し、次の結果を得た。

【結果と課題】

・３点ゲートでの成形品の表面観察の結果、ショートやクラックの発生は見られず成形は可能であることが分かった。ただし、次の課題がある。

①末端（ボルト取付穴）付近ではウェルドラインに沿って炭素繊維フィラーが表面では平行に配列されている。

②ゲート間のウェルド部では、ウェルドラインに見える部分でも炭素繊維フィラーが平行になる現象は見られない。ウェルド部の膨らみがあり、樹脂内部の状態を計測する。

③末端（ボルト取付穴）裏側フランジ部では凹部位があり、樹脂流れの阻害が要因と推察する。ガスによる未充填の可能性もあるため、樹脂内部の状態確認が必要となる。

【3’-4】オイルパンの射出成形の最適条件分析

（1）目的：

オイルパンを熱可塑性炭素繊維樹脂で作る場合の樹脂流動の特異性を確認し、射出成形に特有なヒケ、倒れ・反り、かすれ、ショートといった状態が生じないように、成形条件の組み合わせを最適化する。

（2）実施内容：

1）熱可塑性炭素繊維樹脂オイルパンの量産化の問題点：

・ウエルドの膨らみ：

樹脂の表面が硬化した状態で樹脂圧がかかると、内部応力が高まり、型開きの際に膨らむ現象は熱可塑性樹脂にも見られる現象だが、本材料の特異性で発生するか、他の熱可塑性樹脂でも同様に発生するか、検証が必要である。(製品化の際の問題点)

この問題点を調査し、他の材料との比較試験を行い、熱可塑性炭素繊維樹脂の優位性を検討した。

（3）結果：

非強化グレードの樹脂では、ウエルドの膨らみは見られなかった。この不具合現象は、CF 強化樹脂等の繊維強化樹脂の特異性と思われるため、市場で使用されている他の樹脂材との比較試験【3’-5】で検証することにした。

【3’-5】オイルパン熱可塑性炭素繊維樹脂と他の樹脂材料との比較試験

（1）目的：

熱可塑性炭素繊維樹脂と他の熱可塑性樹脂を比較検討し、熱可塑性炭素繊維樹脂の優位性または欠点を知ることにより、熱可塑性炭素繊維樹脂での製品化の検討点を明確にする。

（2）実施内容：

実際に使用される形状で、市場で使用されている樹脂材との強度の比較試験を行うことで、熱可塑性炭素繊維樹脂の優位性または欠点を明確にした。

1）多種材料によるオイルパン試作：

熱可塑性炭素繊維樹脂の種類/物性

マトリクス樹脂 (CF30%混合)			ポリプロピレン PP	ポリアミド PA66	ポリエステル PBT	ポリアセタール POM	ﾎﾟﾘﾌｪﾆﾚﾝｻﾙﾌｧｲﾄﾞ PPS	変性ﾎﾟﾘﾌｪﾆﾚﾝｴｰﾃﾙ m-PPE
項目 (試験方法 省略)		単位				(CF20)		(CF15)
密度		g/cm^3	1.06~1.07	1.28	1.43	1.47	1.45	1.13
吸水率		%	-	0.53	-	-	-	-
成形収縮率	流れ方向MD	%	0	0.1	0.1	0.1	0	0.2
	直角方向TD		0.1	0.6	0.8	0.7	0.2	0.1
引張強さ		Mpa	130	220	170	170	210	120
曲げ強さ		Mpa	230	370	280	190	310	170
曲げ弾性率		MPa	19500	20000	22300	14800	25200	11700
シャルピー衝撃強度	V	KJ/m^2	7	10	7	5	6	5
	Un		42	64	44	27	30	18
荷重たわみ温度	0.45MPa	℃	162	261	224	167	>280	179
	1.80MPa		155	254	215	165	272	173
線膨張率	流れ方向MD	X10^{-5}/℃	0.3	0.6	0.5	0.9	0.5	0.9
	直角方向TD		10.1	8.9	9	11.1	5.1	6.9
燃焼性		-	-	HB 0.81mm	HB 0.75mm	-	V-0 0.75mm	-
体積低効率		Ω・cm	5X10^2	1X10^2	3X10^2	3X10^2	1X10^2	3X10^2
表面低効率		Ω/□	8X10^2	1X10^2	4X10^2	4X10^2	1X10^2	3X10^2
抵抗率		Ω・cm	2X10^2	3X10^2	7X10^2	3X10^2	1X10^2	9X10^2
溶融流動性		cm^3/10min	9 230℃X21N	35 300℃X21N	13 250℃X21N	10 230℃X21N	14 330℃X21N	2 300℃X21N
乾燥条件			100℃X4hr		120℃X4hr	90℃X4hr	120℃X4hr	90℃X4hr
成形条件	樹脂温度	℃	230	290	240	200	300	290
	金型温度	℃	80	80	100	100	100	100

・オイルパン　比較試験　材料種類

PBTGF30	POM	PP	PA6

熱可塑性長炭素繊維材と汎用材料との比較試験を実施。

寸法　　：　寸法の安定性

重量　　：軽量化の優位性

外観　　：機能上の問題点の有無

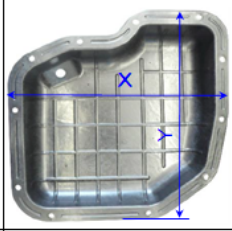
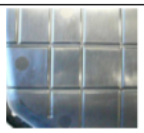
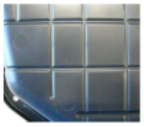
強度　　：落錘試験で破壊強度を比較。

その他　：熱可塑性長炭素繊維材との違いの有無。

熱可塑性長炭素繊維材の優位性を明確にする。

：　量産品への展開。

・オイルパン比較試験　板厚 1.0mm

	CF材 熱可塑性炭素繊維樹脂	PBTGF30	POM	PP	PA6
試験用材料					
寸法 製品	229.97　X　228.95 MAX H　47.91	229.54　X　228.05 48.47	227.58　X　225.66 47.20	227.60　X　226.65 47.75	230.16　X　228.75 48.54
重量 製品	95	155	95	125	75
外観	 ウエルド、フローマークが多く、外観悪い	 若干のフローマーク発生 外観は良い。	 外観　良好	 外観　良好	 外観　良好

・結果：

・寸法安定性：熱可塑性炭素繊維樹脂(CF 材)は、ほぼ金型寸法でできている。他の材料は、樹脂の収縮率に沿って寸法が出ている。PA6 に関しては、製品に変形があり、X 方向に膨らんでいる。

・重量　　：CF 材の母材が PP のため、重量は、PP についで軽い。

・外観　　：CF 材との違い

CF 及び PBT 材には、強化用フィラーが添加されているため、外観にフローマーク、ウエルドが発生している。CF 材の添加材が問題と推測される。

2）試作品の形状：

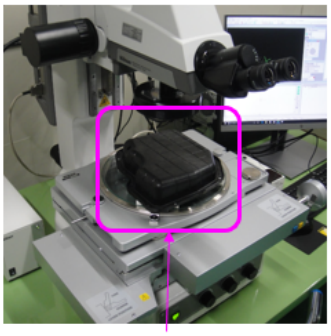
・比較試験　:CF 材板厚違い及び PBT 材との比較

試料No.	樹脂名	肉厚(mm)
①	ＣＦＲＰペレット(炭素繊維強化プラスチック)	1
②	ＣＦＲＰペレット(炭素繊維強化プラスチック)	2
③	ＰＢＴ-ＧＦ30 （ポリブチレンテレフタレート ガラス繊維30%）	1

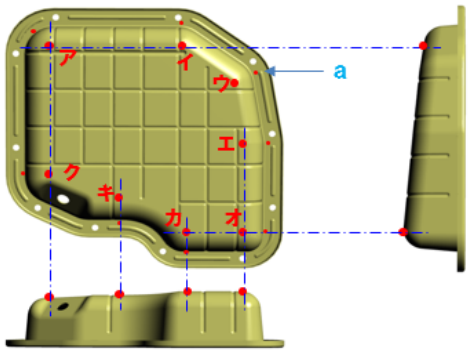
A. 高さ寸法

試作No.	測定ポイント							単位：mm
	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク
①	32.698	32.354	34.973	39.560	46.755	46.724	44.230	42.451
②	32.924	32.651	35.362	39.762	46.803	46.945	44.531	42.568
③	33.018	32.532	35.211	39.394	46.652	47.192	44.523	42.641

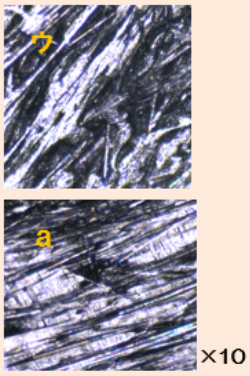
【測定機：ニコン　測定顕微鏡】

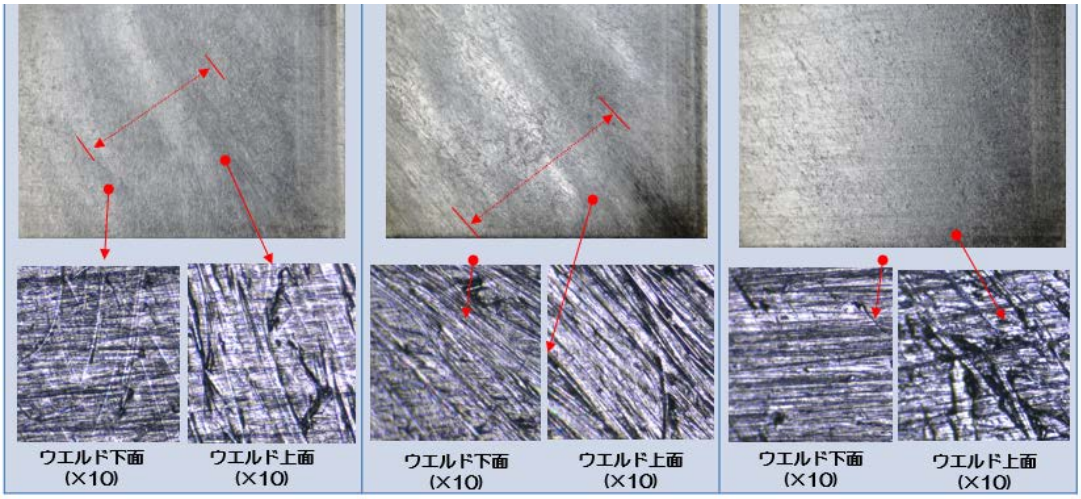


測定位置



②-ウ　表面状態





盛上り量：　0.005mm
幅　　：　11.335mm

盛上り量：　0.03mm
幅　　：　14.811mm

ウエルドなし

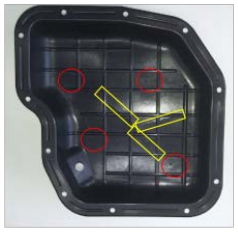
単位：mm

C. 外観（樹脂流れ模様）

3）試作品の外観と平面度：

偶数のゲート数では、ゲート間にウエルドが出来、炭素繊維を流動させる母材の密度が減ることからウエルド部が凸となる。
奇数のゲートが比較的良かったが、樹脂を一方方向に流すゲート配置が必要である。
本材料において、樹脂の流動では問題無いことから、中央に１点ゲートとすることが望ましい。

機能上の問題点　ウエルドによる外観の悪さ（ゲート数による外観状態確認）

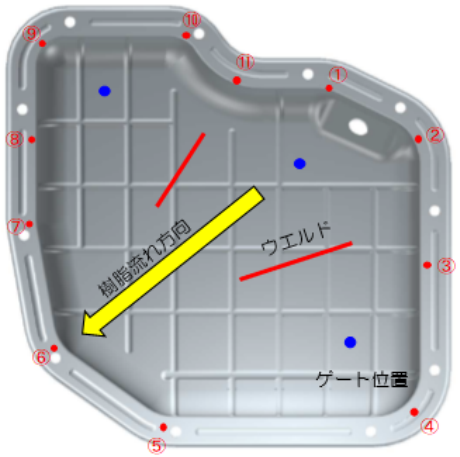
ゲート数	2点	3点	4点
外側			
内側			
考察	ゲート間中央に大きくウエルド発生。	ゲート間中央に薄いウエルドは発生しているが、全体として樹脂は一方向へ流れている。	各ゲート間中央に大きくウエルド発生。

【ゲート参考例】

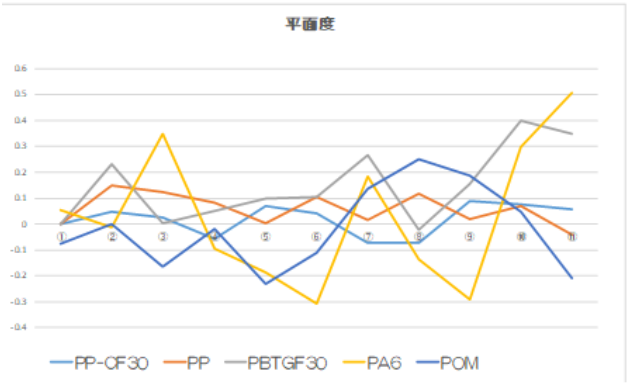
１点: ダイレクトゲート/バルブゲート

１点:　ピンゲート

平面度



測定値	PP-CF30	PP	PBTGF30	PA6	POM
①	0	0	0	0.053	-0.077
②	0.048	0.150	0.232	-0.013	0.000
③	0.025	0.125	0.004	0.35	-0.164
④	-0.058	0.083	0.051	-0.096	-0.019
⑤	0.069	0.004	0.098	-0.187	-0.230
⑥	0.041	0.106	0.106	-0.308	-0.112
⑦	-0.072	0.017	0.266	0.185	0.137
⑧	-0.072	0.116	-0.022	-0.135	0.249
⑨	0.088	0.019	0.154	-0.292	0.188
⑩	0.076	0.071	0.399	0.298	0.048
⑪	0.058	-0.041	0.347	0.508	-0.208
MAX	0.088	0.15	0.399	0.508	0.249
MIN	-0.072	-0.041	-0.022	-0.308	-0.23
R	0.160	0.191	0.421	0.816	0.479



結果：

樹脂流れのに対し、流れと直角方向に反りが出ているが、他材に比べＰＰ－ＣＦ３０材の反りは少ないことから寸法精度の面より、優位性が有る。

反り方向

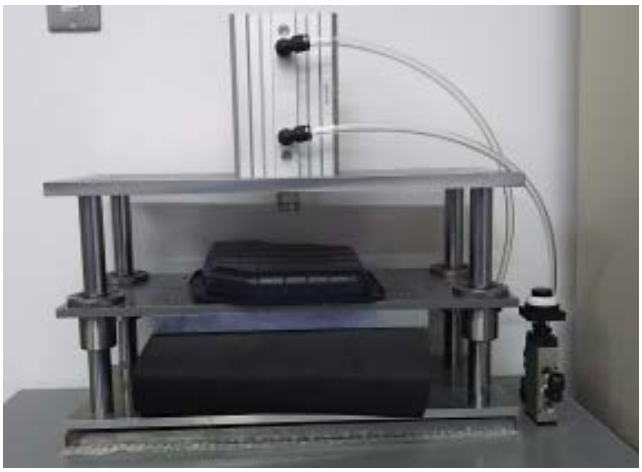
反り方向	PP-CF30	PP	PBTGF30	PA6	POM
軸	②-⑤	⑪-⑤	②-⑤	⑩-④	⑪-⑤

4）オイルパンの破壊試験：

a） オイルパン加圧試験

各材料品で、破壊時の押し力を測定し、強度の優劣を比較した。また、破壊時の潰れ量を測定し剛性を調査した。

オイルパン　破壊強度測定機



試験機仕様

シリンダー径　　φ100

〃　ロッド径　　φ30

ストローク　　100

押しピン径　　φ30

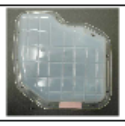
押側の推力(ｋｇｆ)=πxシリンダーの半径²(ｃｍ²)x使用圧力(ｋｇ/ｃｍ)x シリンダー効率≒100%

エアー圧(MPa)	重量単位系（kgf kgf/cm2）	国際単位系（kN Mpa）
0.2	160 Kgf	1.571 N
0.3	240 Kgf	2.356 N
0.4	320 Kgf	3.141 N
0.5	400 Kgf	3.927 N
0.6	480 Kgf	4.712 N
0.7	561 Kgf	5.498 N
0.8	641 Kgf	6.283 N
0.9	721 Kgf	7.069 N
1	801 Kgf	7.854 N

1kgf＝9.80665N（ニュートン）↑kgf/cm²=0.980665Mpa(メガパルス)

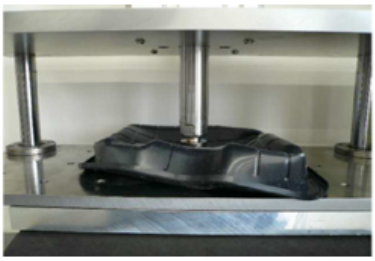
試験用材料	CF材 熱可塑性炭素繊維樹脂	PBTGF30	POM	PP	PA6

試験結果

エアー圧(Mpa)	PP	PA6	POM	PBTGF30	PP/CF
0.06			NA	NA	
0.08					
0.1					NA
0.12					
0.14	NA	NA			
0.2					

結果　：

PP,PA6は完全に潰しても破壊せず。
材料の延びが大きく、変形しやすい。



POM,PBTGF30は押し力600N程度で破壊する。伸びが少ないため、一定以上の変形が起こった場合、破壊起こると考えられる。

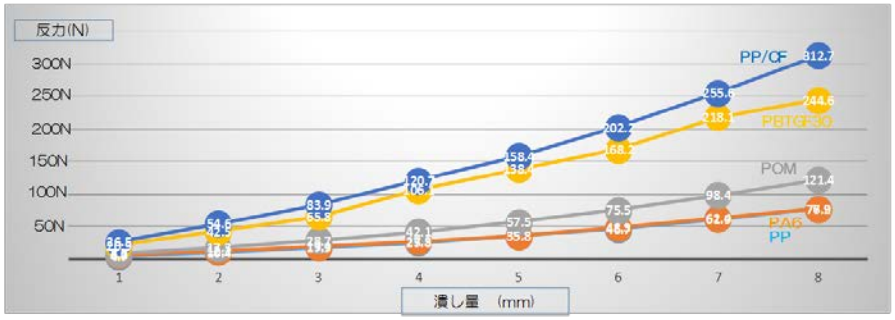
PP/CF材は、PBTGF30の1.5倍の耐力が有る。破壊の程度は、POM,PBTGF30と同様の現象と推測される。

PP/CF材は板厚により強度を上げることが可能であるが、一定以上の力が加わると、破損し易い性質が有り、特に衝撃が加わる場所への用途には、樹脂材単体での使用は避けなければならない。

b）オイルパン潰し力測定

反力(N)

押し量(mm)	PP	PA6	POM	PBTGF30	PP/CF
1	4.7	6.0	8.2	20.9	26.5
2	10.4	12.1	17.3	42.5	54.6
3	17.9	19.1	28.7	65.8	83.9
4	25.8	27.3	42.1	106.1	120.7
5	35.8	35.8	57.5	138.4	158.4
6	46.7	48.3	75.5	168.2	202.2
7	61.9	62.4	98.4	218.1	255.6
8	76.9	77.2	121.4	244.6	312.7
9	91.1	94.5	147.5	260.5	-
10	112.4	114.9	202.4	-	-



測定器　AIKOH プッシュプルゲージ

【結果】：

・PP,PA6 の潰し量と反力はほぼ同じ関係にある。

・POM,PBTGF30,PP/CF 材 は、潰し量に比例して反力が高くなるが、伸びが少ないため、限度を超えると割れが発生する。

5）考察：

・熱可塑性炭素繊維樹脂部品化の提言：

(a) 部品の形状は鋭角を避ける。

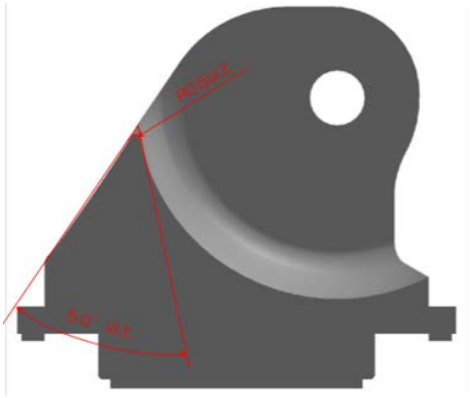
可塑性炭素繊維強化樹脂（長繊維)の成形においては、CF 材をまとめるため、及び繊維を拡散させるために、マトリクス材の他に、揮発分を含む添加剤が含まれている。

(Φ1.9X6.85)

このため、乾燥および成形に際して、揮発成分が放出され、目、鼻、喉が刺激されることがあるので、これらの熱を加えた加工中は、適切な局所排気が必要となる。

また、成形においては、これらの揮発性ガスが薄肉部、溝部などに溜まり、マトリクス樹脂の流動を阻害することで、端部まで樹脂が回らない。金型にはガス逃しを大きく取ること、製品は、50° 以内となる鋭角は避けること、および 50° 以内の鋭角となる場合は、コーナーにR0.5 以上の丸みを付けることで、欠陥(ショート)を防ぐことができる。

(b) 鋭角部コーナーは R0.5 以上とする。



・最適形状の基準

	角度	欠損部近似 R
最適形状	50° 以上	R0.5 以上

(c) ゲートはできるだけ太くし、多点ゲートは避ける。

多点ゲートによる不具合例

・フローマーク　・ショート(ガス焼け)　・ウエルド

熱可塑性炭素繊維強化樹脂（長繊維）の成形においては、樹脂温度を高くし、樹脂の流動性を良くして成形する必要があるが、炭素繊維は熱伝導率が高くマトリクス材を速く固化させやすいため、ウエルド、ショートが出やすい。

ウエルド　ヒケ(膨らみ)

ガス焼け及びショート

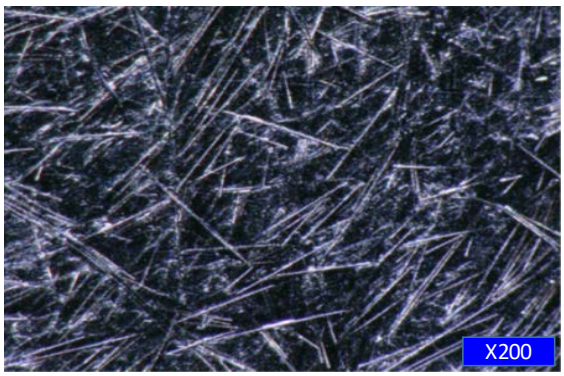
また、揮発性ガス、射出時のせん断熱による樹脂温度の上昇等により、部分的な温度差、内部圧力差等のバラツキが大きく、表面が凸凹になったり、フローマークがきつくなるなど、外観に悪影響を及ぼす。

フローマーク

外観を良くするためには、樹脂の流れを一方向とすることが必用で、多点ゲートは避け、できるだけ太くした１点ゲートとすることが有用な方法である。

(d) CF 繊維脱落対策

炭素繊維は細く、しかも破断伸びが小さい(破断伸び　2%)ので、取扱いによっては破損したり毛羽となったりし、短くなった単繊維はフライや粉塵と成り大気中に飛散しやすい。繊維径が細いのでショートファイバーは皮膚や粘膜に刺激を与え、痛み、かゆみを生じる場合があり、皮膚の露出、防塵への注意が必要となる。また、炭素繊維は導電性を有するのでフライや糸くずが電気系統の短絡の原因になることもあり、作業には、粉じん障害防止規制を遵守する必要がある。



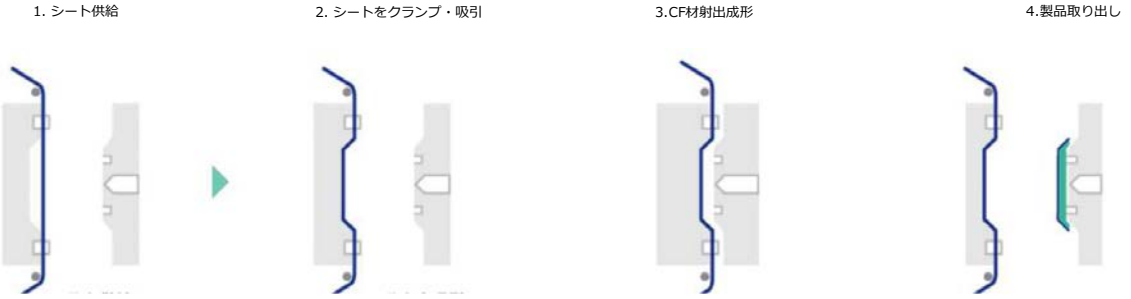
(e) 人体への障害対策

炭素繊維の一本は細い針金のようなもので、粉塵やフライが皮膚に付いただけで、ムズムズしたり、痒いことがあるが「こする」ことは禁物である。こすると皮膚に刺さって二次的な皮膚の炎症を起こすことがある。皮膚についた場合は、水洗いが有効である。

(f) インモールド成形の検討

熱可塑性炭素繊維樹脂の成形品は外観が悪く、成形後の印刷、塗装など、二次加工によって外観を改善する必要がある。これらの後加工では、工程が増すことで、生産が低下したり、不具合による歩留り低下によりコストが高くなる。インモールド成形により、リードタイムの短縮やトータル工程の歩留り向上が期待できる。

インモールド成形の射出成形工程(フロー)



シート内側に熱可塑性炭素繊維樹脂を射出成形することで、外観はシート材の良さ、内側は熱可塑性炭素繊維樹脂の持つ、形状の自由度、軽く強い性質、及び熱可塑性炭素繊維樹脂をシートで覆うことで、粉塵やフライの発生を防ぎ、効率の良い生産を行うことができる。また、金型にテフロン、フッ素加工することで、CFRP のプリプレをシート同様にインモールド成形することで、熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の一体化された CFRP 品の製造も可能である。この場合、プリプレグは射出圧により金型キャビ面に押し付けられ、熱可塑性樹脂の樹脂温度で加熱され、冷却により硬化するので、熱可塑性炭素繊維樹脂の成形加工ができる。(テフロン、フッ素加工をすることで、CFRP プリグレのマトリックス材(フェノール、エポキシ等)の溶着を防ぐ。)

（3）結果：

熱可塑性炭素繊維樹脂の優位性は、軽量化であり、今回評価した、PP/CF 材に関しては、非強化 PP 材と同じ重量でありながら、2 倍の強度がある。この点は、GF 強化材に比べて、軽量化が図れる優位性を得ることができた。また、欠点としては、ウエルド部及び薄肉又は鋭角となる部分において、CF 繊維の浮き出しによる、フライや糸くずの脱落が生じ易く、電気部品の場合は短絡、人体に触れる部品の場合は、触れるだけでムズムズしたり、刺さりこんで炎症を起こすなどの有害な弊害が起こることが判り、熱可塑性炭素繊維樹脂を単体で使用する場合は、軽量化を必要とする金属からの置き替え等の構造体に用途が限定されることが明確となった。

また、素材が高く、ハイサイクルで加工しても、フライ、糸くず脱落防止のため、後工程で表面処理が必要になり、コストアップとなる。金属以外の材料への置き換え、及び、コストに見合う優位性を見出すことができないことが日常品に用途が広がらない要因と思われる。

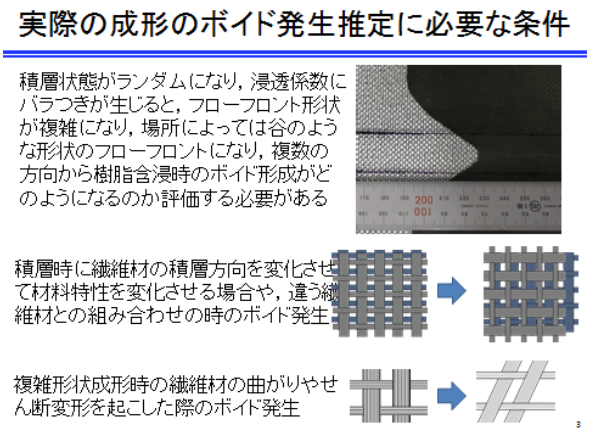
したがって、異種材との複合加工により、CF 材と汎用樹脂材の両者の利点を活かせる部品への展開が今後は主力となると予想される。

【4．プレス成形での含浸度の課題への対応】

【4-1】含浸のプロセス分析

・平板繊維材への含浸過程の顕微鏡観察を行い、ボイド発生状況について画像解析および評価を実施した。繊維材の重なり方でボイドの発生のメカニズムが異なることを明らかにした。

・プレス成形でのボイド発生評価に不可欠である繊維材のプレスシミュレーションの開発を実施した。プレス成形シミュレーションは，接触を含むため非線形性が強く計算の収束性に課題があり、陽解法によるシミュレーションが必要であることを明らかにした。



・平板繊維材への含浸過程の顕微鏡観察を行い、ボイド発生状況について画像解析および評価を実施した。繊維材の重なり方でボイドの発生のメカニズムが異なることを明らかにした。

さらに、プレス成形でのボイド発生評価に不可欠である繊維材のプレスシミュレーションの開発に着手した。

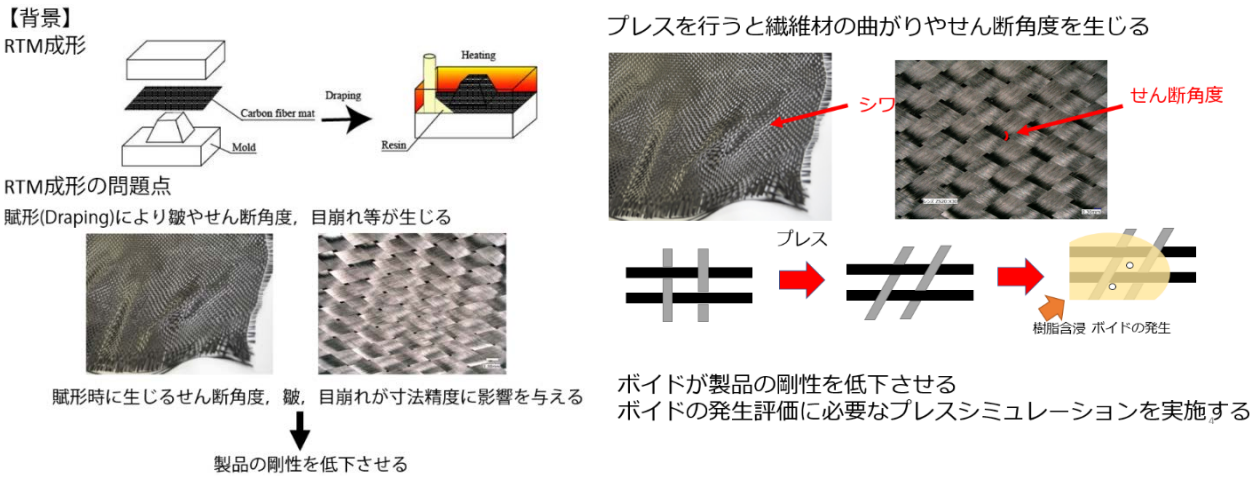
【4-2】ソフトカーボンのプレス成形品の含浸分析

ソフトカーボンのプレス成形品のボイド状態はマイクロスコープで分析した。開発を進めているプレス成形シミュレーションについては，ソフトカーボンプレスにも応用できる共通の技術である。

1）目的と背景：

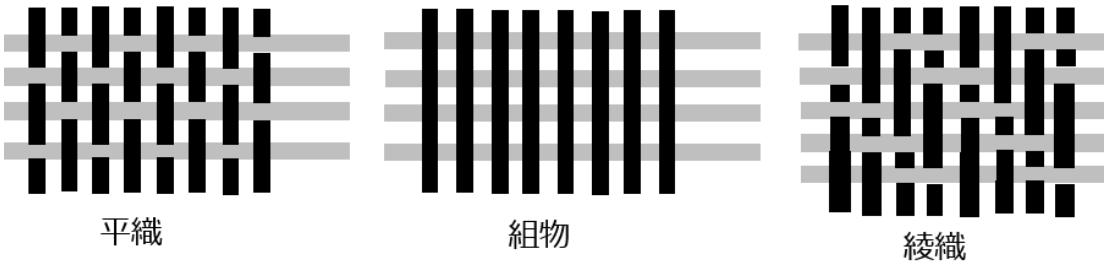
・RTM（Resin Transfer Molding）成形では、賦形（Draping）によりシワや目崩れ等の不具合が生じ、含浸プロセスにも影響を及ぼすため、賦形シミュレーション手法を確立し、賦形時の

挙動を明らかにする。

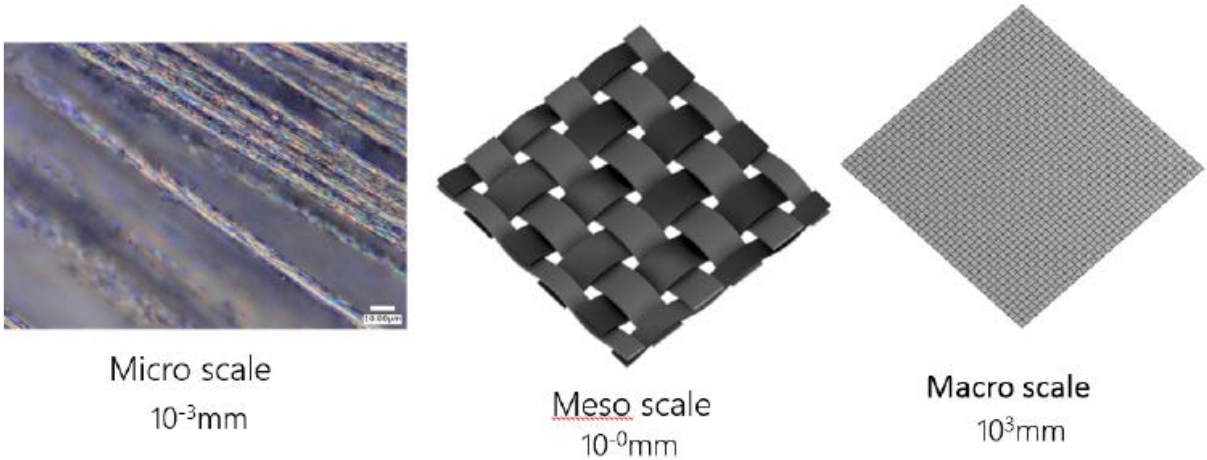


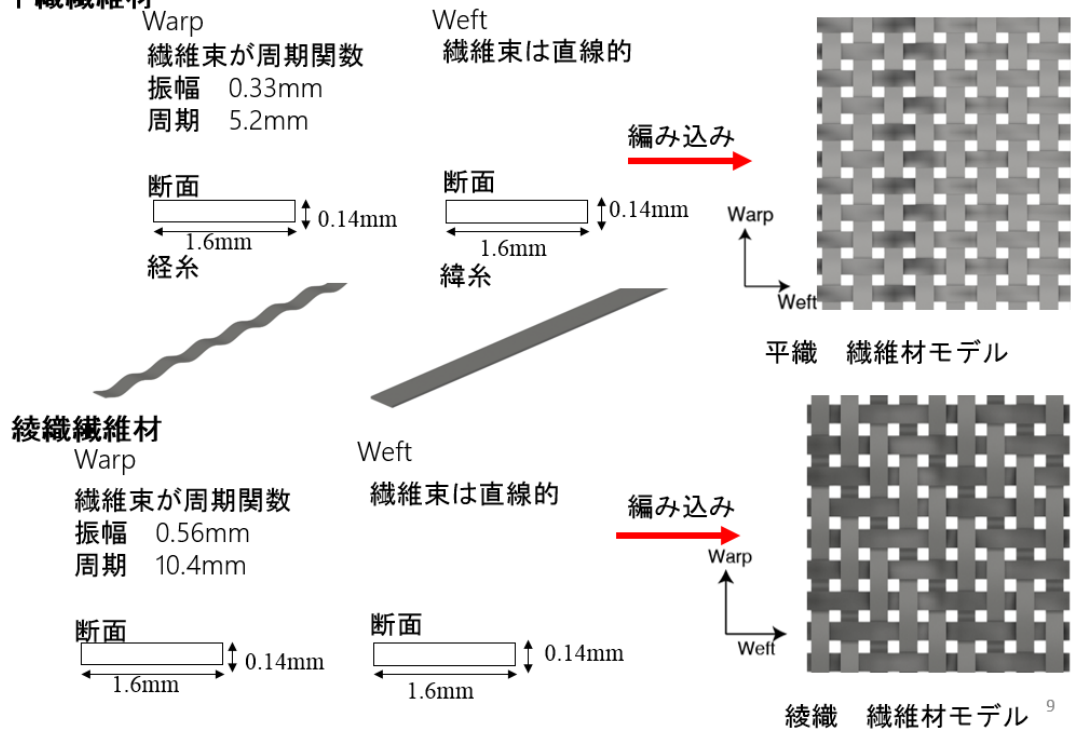
【研究手法】

・繊維束を再現することによる従来にない繊維材モデルの確立し、平織のほかにも綾織などの異なる織り方でのモデルの妥当性の確認を行う。



・本研究の繊維材賦形シミュレーションは繊維束の再現を行うため，マクロとマイクロの中間(メソ)のスケールでの解析を行う。





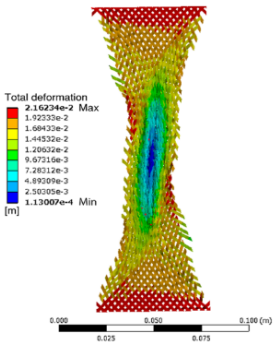
【結果】

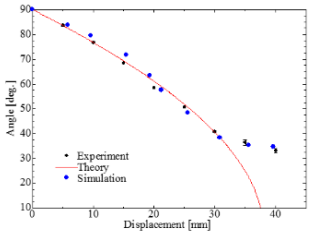
・メソ（中間）スケールでの炭素繊維プレスシミュレーションを行なう際のモデルの妥当性を検証した。

・繊維束を再現（材料定数の測定値使用）することによる繊維材モデル（平織、綾織）の賦形シミュレーションでモデルの妥当性を確認した。

・繊維材モデル（平織、綾織）のバイアス・エクステンションテストの実験とシミュレーションの比較により、モデル、材料定数の妥当性を確認した。

変位39.6 mm時の平織繊維材挙動

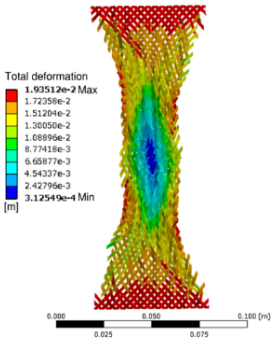


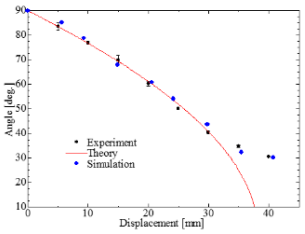


・理論では再現できないような繊維材変形時のロック現象も，シミュレーションにより再現できることを示した

・せん断角度は理論式と挙動は一致する

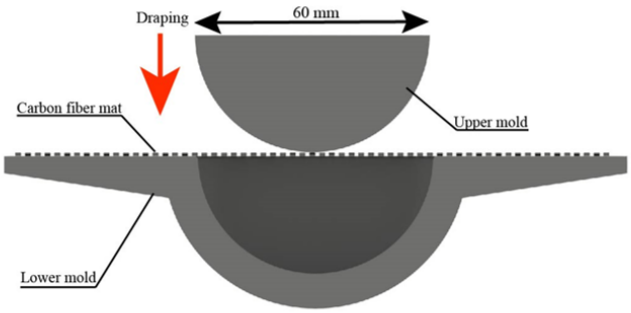
変位40.8 mm時の綾織繊維材挙動





綾織の場合もシミュレーションと実験は同じような傾向でありモデル，材料定数，摩擦は妥当であると言える

賦形シミュレーションモデル

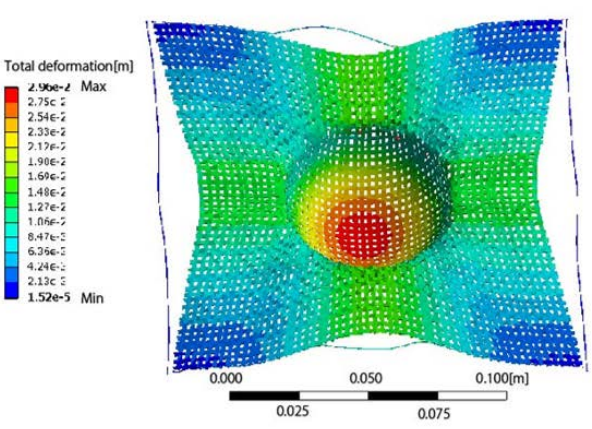


賦形シミュレーションの計算規模	
Computation Hardware	PC
CPU	Intel(R)Xeon(R)CPU E5-1630 v4 @3.70GHz
RAM	128GB
Computing time	4days
Element count	80781
Node count	54401
Element Model	8-node elements

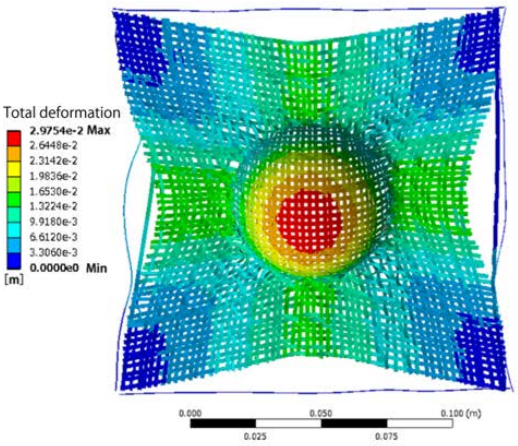
賦形条件	
上部型の初速度	0.3 m/s
繊維材の織方	平織，綾織
繊維材サイズ	150mm×150mm
下部型	固定
繊維-型　摩擦	0.25
繊維-繊維　摩擦	0.18
計算手法	陽解法動解析

シミュレーション結果

賦形後の平織繊維材

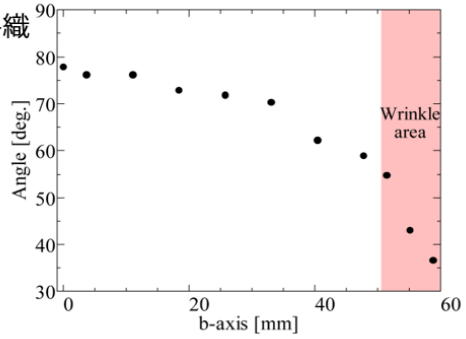


賦形後の綾織繊維材

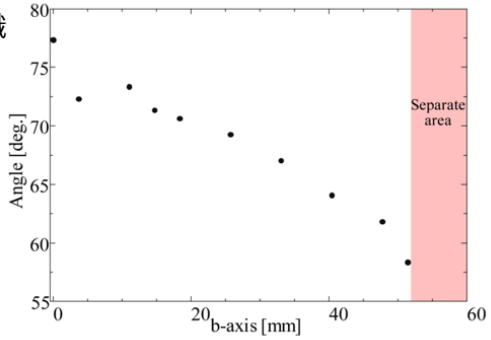


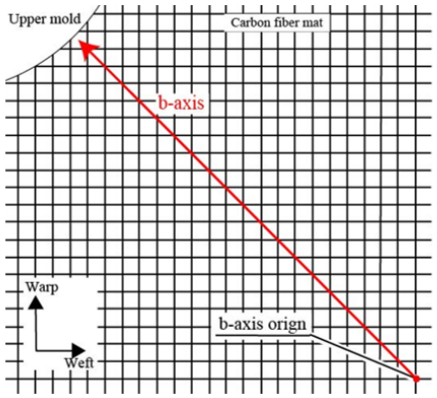
炭素繊維材の挙動

平織



綾織





・平織ではb-axis の値が大きいほどの剪断角度が小さくなる

・平織繊維材の賦形ではロック現象が生じるため，球周辺部数か所で皺が出来ている

・綾織ではb-axis の値が増加してもの剪断角度が小さくならずロックキング角度に至らず，皺ではなく繊維束どうしの分離が発生する

【結果のまとめ】

・賦形シミュレーションの結果、平織繊維材の賦形ではロック現象のため球周辺部数個所でしわができ、綾織繊維材では球周辺部でもロッキング角度に至らないため、しわではなく繊維束同士の分離が発生することを明らかにした。

・Bias-extension test の実験とシミュレーションを行い、本研究の解析手法では、樹脂が未含浸の繊維材と近い挙動を再現可能であることを示した。

・織り方の異なる賦形シミュレーションを行うことが可能であり、賦形の際の繊維材の挙動の違いを確認できた。

【4-3】含浸挙動の変数最適化の検証

（1）目的：

樹脂注入成形における含浸挙動は、材料の厚さをはじめとして、様々な成形条件の影響を受けて、成形物の物性が変化すると考えられる。ここでは、含浸条件の最適化を目的として、まずはリファレンスとなる樹脂注入成形を行い、成形条件の問題抽出を行った。さらに、得られた結果に基づいて、含浸条件を改良し、さらに成形物厚さを変えたときに、特にボイドや板厚分布などの成形品の品質に影響を及ぼすか調査した。

（2）実施内容：

平織りガラスクロスと不飽和ポリエステル樹脂を対象として、真空圧による樹脂注入成形を実施した。特に、積層を５枚と 16 枚の２種類の板材を成形し、積層厚さ影響を調査した。なお樹脂は繊維材の含浸前に、脱泡混練機を用いて、極力気泡が入らないように準備した。

使用材料

平織ガラスクロス
型番:M200K
寸法:150×300mm 16枚

不飽和ポリエステル樹脂
型番:PC-184-C
主剤160g, 硬化剤1%

材料準備

混錬容器にポリエステル樹脂160gと硬化剤1.6gを入れ、脱泡混錬機で200rpm, 4分間混錬した

混錬容器

脱泡混練機

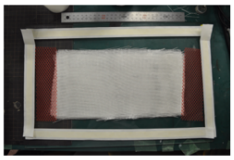
成形の作業手順は以下の通りである。ここでは、樹脂含浸後は、真空ポンプを止めて、インレット側はそのまま開放し、大気に接続されるアウトレット側は閉じて、24 時間硬化させた。

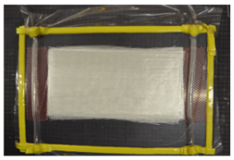
作業手順1

1,モールド(ガラス板)に離型剤を塗り繊維(150×300ｍｍ)を積層する(1回目は5枚、2回目は16枚)

2,樹脂の通り道となるネットを配置し、周囲にシーラントテープを張る

3,インレット、アウトレットチューブを配置し、バギングパックで密閉する



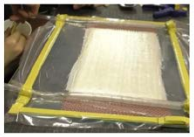


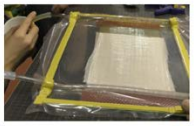
作業手順2

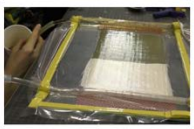
4,インレットを閉じて真空ポンプで内部を真空にする(吸入圧力80kPa)

5,インレットを開放すると樹脂が吸入され、繊維に浸透する

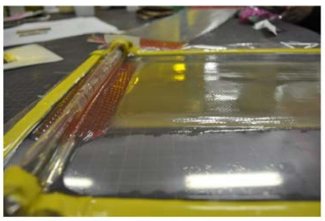
6, アウトレットを閉じて24時間ほどで硬化して完成







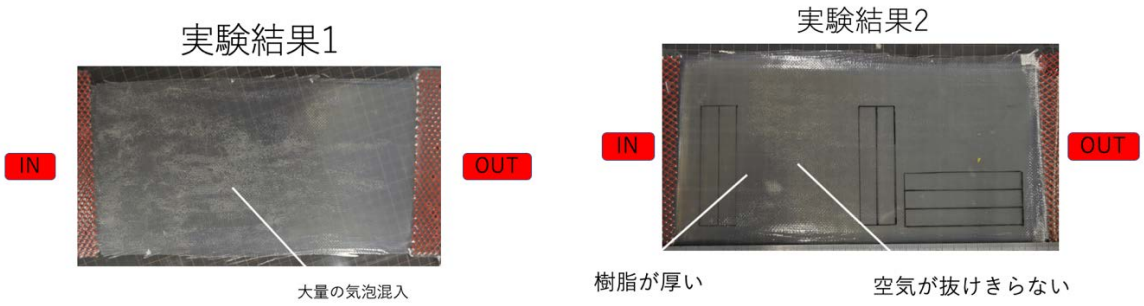
含浸についての考察



Inletチューブ付近の繊維上で樹脂がたまり、Outlet側と比べて20%程度厚くなった.
真空ポンプを止めたのちにInlet側のチューブを封鎖しなかったため，バギングフィルムの復元力により樹脂が吸引されたと考えられる

含浸した結果を観察すると、インレット側で20%程度厚くなり、厚さに大きな不均一性が見られた。これはインレット側のチューブを封鎖しなかったため、圧力低下が生じたためと考えられる。

そこで条件を見直し、含浸後はインレット側を封鎖して、インレット側の圧力低下を防ぐよう改善した。樹脂注入成形結果を次に示す。実験結果１は薄板（5 枚積層）、実験結果 2 は厚板（6 枚積層）の結果である。どちらにおいても不均質に大量のボイドが発生した。また積層数が大きくなると、板厚の不均一性も見られた。この不均一な厚さ分布は、積層した繊維材のヨレやシワによって、繊維材がみだれにより、空間に樹脂が溜まり厚さが変化したためと推測される。



- 不均質に大量のボイド(気泡)が発生した
- 不均質に発生した理由としては，繊維材のよれやシワが原因と考える

- 材料内の空気が抜けきらず、ボイド発生
- 厚さの不均一性も見られた.

（３）結果：

インレットとアウトレット側の開放および封鎖の含浸成形条件によって、材料の板厚を始めとした成形品質が大きな影響を受けることを確認した。また、薄板と厚板ともに、不均一に大量の小さい気泡が残留した。厚板の場合は、気泡に加えて、厚さの分布の不均一性もより顕著に確認された。積層した繊維材のヨレやシワによって、繊維材が乱れており、生じた空間に樹脂が溜まり厚さが変化した可能性がある。以上の結果から、繊維材の織り構造の乱れは、樹脂注入成形上、厚さやボイドの発生に影響を及ぼすため、これらの乱れを予測・制御することは、高品質成形の上で極めて重要な技術となることを明らかにした。

【4-4】含浸挙動予測モデルの確立

（１）目的：

・含浸挙動を予測するためには、炭素繊維材の織り構造までモデル化した、シミュレーションの構築が重要である。炭素繊維材モデルを実物に近づけるためのモデル改善を行なう。正確な織り構造のモデル化が可能になれば、繊維材のデータから、任意の織り構造を持つ強化材の含浸挙動を、トライアルエラーなしに事前に予測することが可能になると期待される。

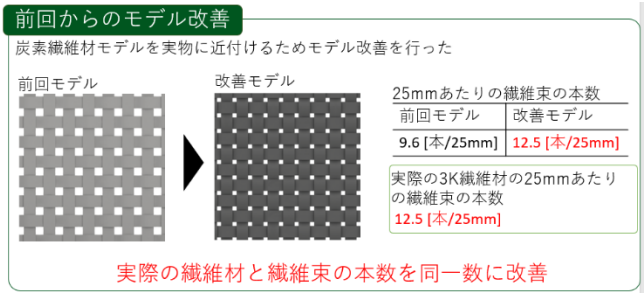
・繊維束の再現した繊維材モデルを利用し、繊維材モデルが未含浸の繊維材挙動を予測可能か確認するため Bias-extension　test の実験及びシミュレーションを行う。

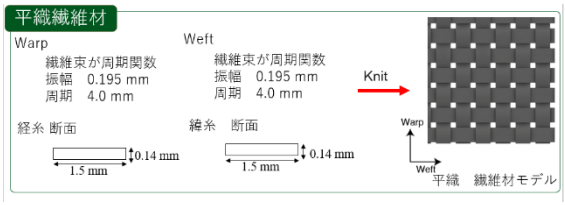
・平織と綾織の異なる織り方のプレスシミュレーションを行う。

（２）実施内容：

１）シミュレーションモデルの改善：

・実際の３K繊維材の 25mm 当たりの繊維束の本数 12.5 本（以前のモデルでは 9.6 本）のモデルを構築した。繊維束自体は矩形形状でモデル化し、これらを周期関数で形状を設定することで、平織および綾織構造をモデル化した。

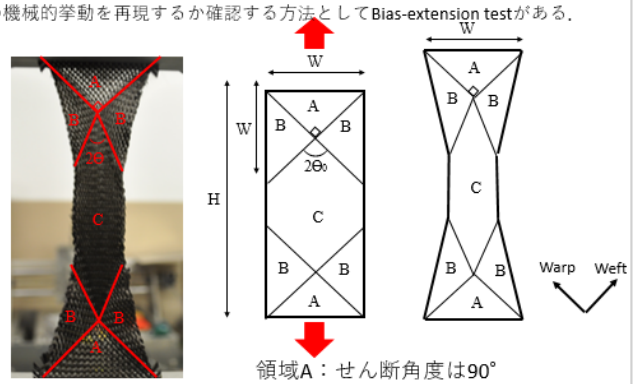




2）Bias-extension test の実験とシミュレーションの比較：

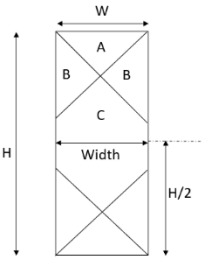
繊維材の材料定数やモデルの方法が実際の変形を正しく表現できているかを確認するために、Bias-extension test の実験とシミュレーションを行い、繊維材を引張したときの挙動の変化を比較した。

シミュレーションの繊維材モデル，材料定数，摩擦等がドライファブリックの機械的挙動を再現するか確認する方法としてBias-extension testがある．



領域A：せん断角度は90°
領域C：せん断角度は2θ
領域B：せん断角度は領域A,Cのせん断角度の合計の半分

平織，綾織繊維材の妥当性を判断するため領域Cのせん断角度・繊維材幅(下図のWidth)をシミュレーションと実験で比較する



H=125mm, W=60mm

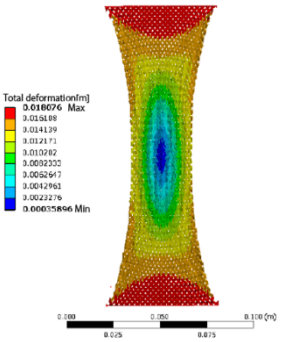
繊維束の材料定数

密度	1760kg/m³[1]
x方向ヤング率	11.1GPa
y,z方向ヤング率	0.234MPa
せん断弾性係数	3.0MPa [2]

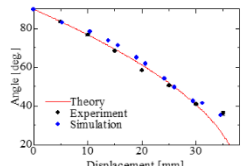
摩擦係数：0.50

[1] トレカ糸T300参考
[2] Peng, X., Cao, J., A continuum mechanics-based non-orthogonal constitutive model for woven composite fabrics, Composites part A: Applied Science and manufacturing, Vol. 36, (2005), pp. 859-874.

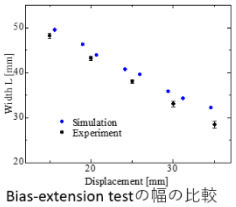
平織繊維材のBias-extension test の実験とシミュレーションの比較を行った



変位34.6 mm時の平織繊維材挙動



Bias-extension testのせん断角度比較



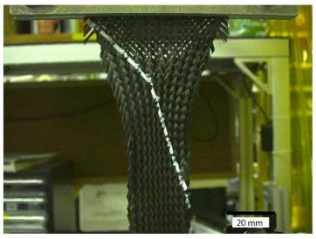
Bias-extension testの幅の比較

繊維束1本の挙動がどの程度一致するのかを確認する手法の考案を行う

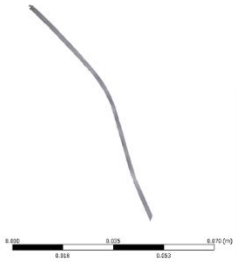
①使用する繊維織物を用意する
②マスキングテープと布スプレーで繊維束に色を付ける
③実験とシミュレーションを写真で比較する

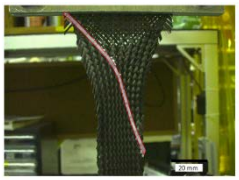
同位置の繊維束の実験とシミュレーションを重ね合わせる

実験

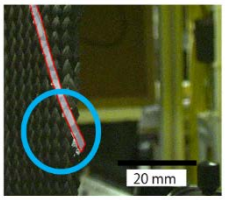


シミュレーション





赤線はシミュレーション
白線は実験



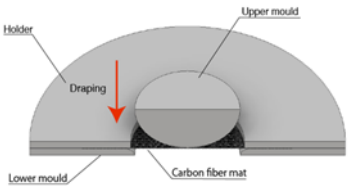
青丸部が変位35.0 mmのシミュレーションと実験の幅誤差に当たる

3）プレスシミュレーションの実験とシミュレーションの比較：

・Bias-extension 試験で、シミュレーションと実験の誤差が小さく、よく予測できていることを確認したため、より実際の成形に近い、プレスの実験とシミュレーションを行った。

・プレスシミュレーションにおいては、120mm ×120mm の平織りの繊維材モデルで、半球状のプレスシミュレーションを実施した。平織りについては２種類の裁断の仕方で挙動を検証した。

120 mm×120 mmの平織，綾織繊維材のプレスシミュレーションを行う

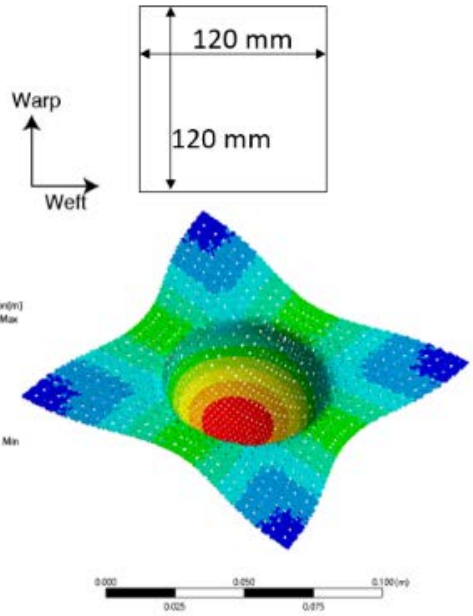


・皺を抑制するためHolderを設置する今回はHolderに圧力をかけない

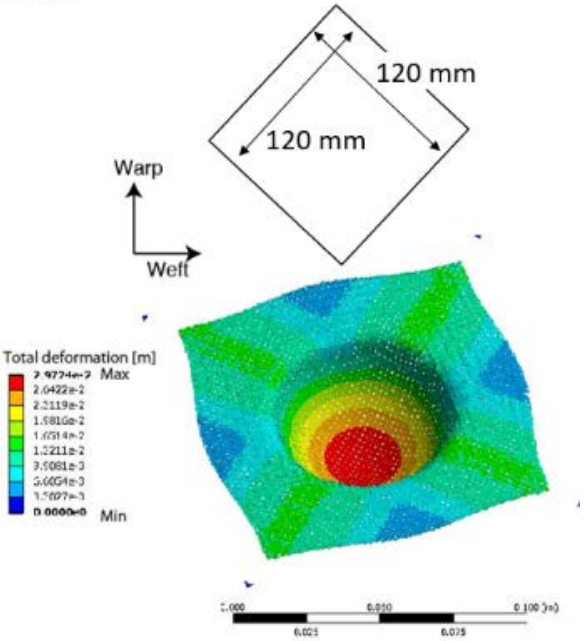
・Upper mould を下方向に移動させることでプレスを行う

・Lower mould と Holder は固定する

120 mm×120 mmの平織繊維材のプレスシミュレーションを行った
平織繊維材は2種類の裁断の仕方を準備した



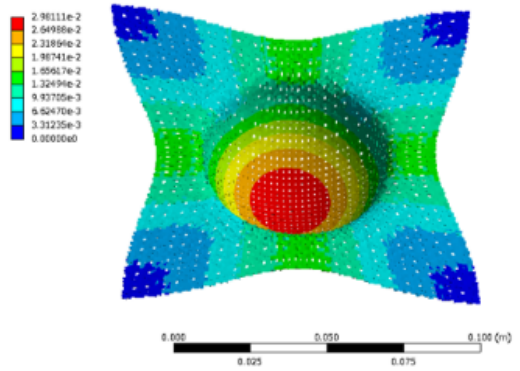
プレス速度：0.60m/s



プレス速度：1.0m/s

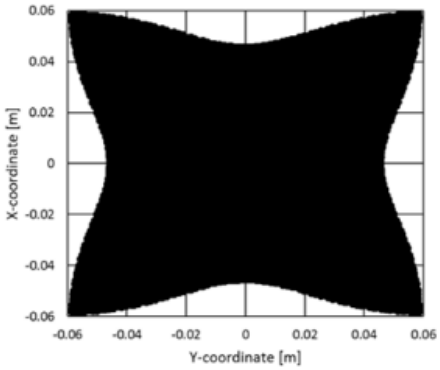
120 mm×120 mmの平織繊維材のプレスシミュレーションを行った

プレス後の形状



炭素繊維材をプレス後の全変形量図

プレス後の外形

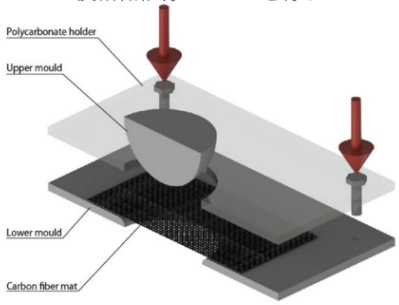


炭素繊維材プレス後の外形

・四隅は変形せず４点星の形状となる

プレス実験は下記に示す条件のもと行った。特に外形とせん断角度について、実験とシミュレーションの比較を行い、どの程度のシミュレーション精度があるか検証した。

120mm×120mmの炭素繊維材のプレスを行う

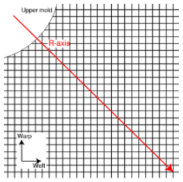


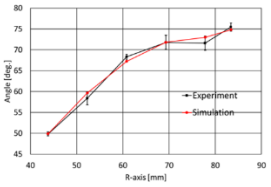
・皺を抑制するためHolderを設置する

・ホルダーは上側から計測のためポリカーボネート板を用いる

・Upper mould を下方向に移動させることでプレスを行う

せん断角度のシミュレーション-実験比較

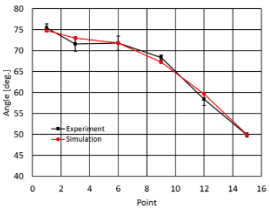




・せん断角度においても各位置でシミュレーションと実験の傾向は一致している

・各位置で最大で3°程度の誤差が発生する

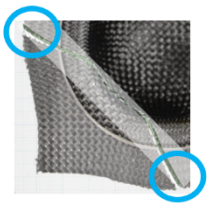
せん断角度のシミュレーション-実験比較

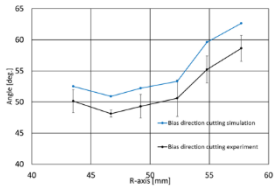


外形においてシミュレーションと実験は一致している

せん断角度においても各位置でシミュレーションと実験の傾向は一致している

各位置で最大で3°程度の誤差が発生する





・青丸部がR軸57.7 mmのシミュレーションと実験の幅誤差に当たる

・半球部はシミュレーションと実験でよく一致している

（3）結果：

1）ドライファブリックの機械的挙動を再現する方法として「Bias-extension test」を行ない、理論では再現できない繊維材のロック現象をシミュレーションで再現した。実験とシミュレーションの比較を行ない、設定モデルが乾燥した繊維材と近い挙動を再現できることを示した。

2）120mm×120mm の平織り、綾織りの繊維材モデルで、半球状のプレスシミュレーションを実施した。今年度導入した高性能ワークステーションと複数ワークステーションを利用し、各種条件でシミュレーションとプレス実験の結果を比較し、外形および各位置でのせん断角度の傾向が一致していることにより、手法の妥当性を確認した。

【5．プレス成形および射出成形での堅牢性の課題への対応】

【5-1】破壊発生のプロセス分析

1）目的：

・CFRP 部品の多くは樹脂を含浸させることにより製造される。樹脂含浸による CFRP 部品の破壊プロセスは研究が進んでいるが、プレス成形による CFRP 部品の破壊プロセスは充分な研究がなされていないためプレス成形品の破壊実験を行う必要がある。

2）実施内容：

・樹脂含浸プリプレグ（標準品）とソフトカーボンプレス成形品（プレス成形品）の試験片（成形成功品と失敗品）をトルク工業㈱から提供を受け、破壊強度評価試験（強度計測と破断面観察）を実施した。

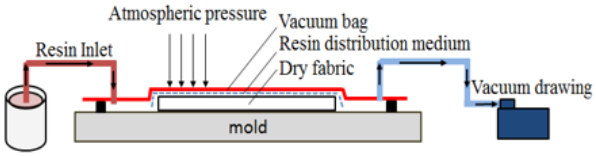
・プレス成形品と標準品の破壊プロセスを明らかにする。

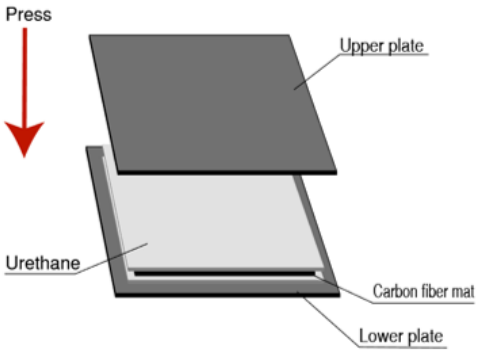
①試験品を下図の島津製万能試験機を使用する。

②試験機を用いて試験片を引張し破壊に至るまで引張を行う。

③試験機により強度の計測を行う。

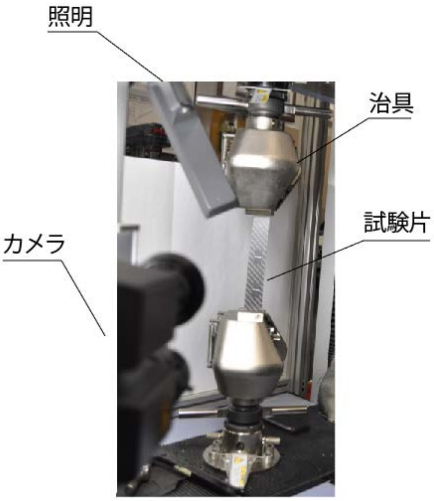
④破断面の観察を行う。





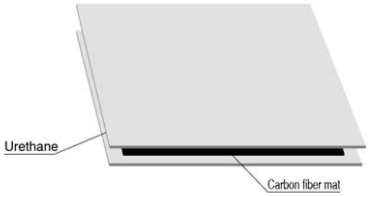
樹脂含浸プリプレグ（標準品）　　ソフトカーボンプレス成形品（プレス成形品）

・プレス成形品及び標準品の破壊強度の比較を行なった。実験装置は下記「島津製万能試験機」を使用した。

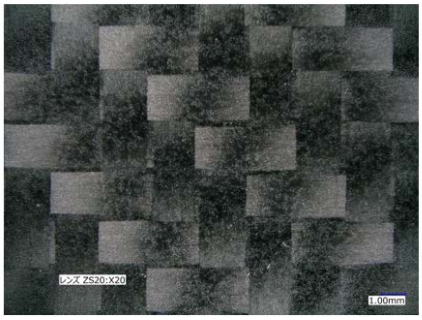


プレス成形品は右図の様にウレタンと炭素繊維をプレスしたものである.

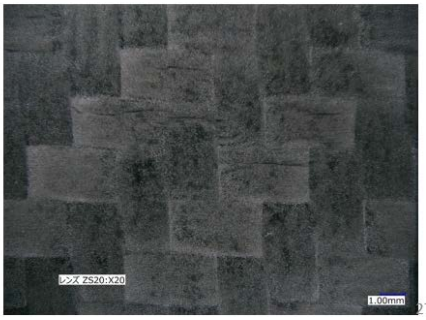
プレス成形品と標準品それぞれの成形の成功品と失敗品の2種類を長方形状にしたものを使用する.



プレス成形品



標準品

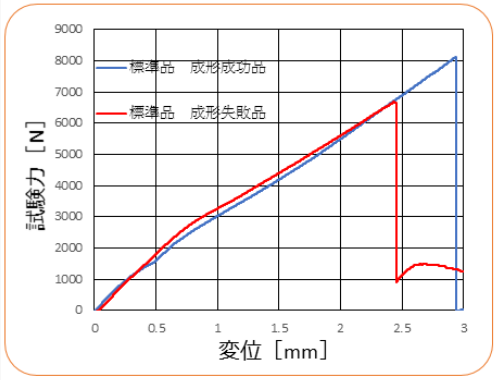


【5-2】キャスターのプレス成形品および射出成形品の破壊分析

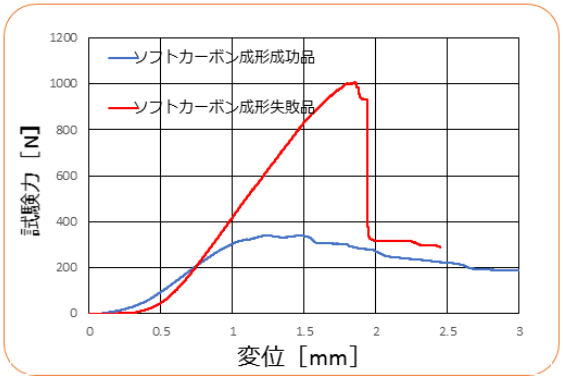
・上記の実験装置により破壊試験を実施した。

【実験結果】

標準品

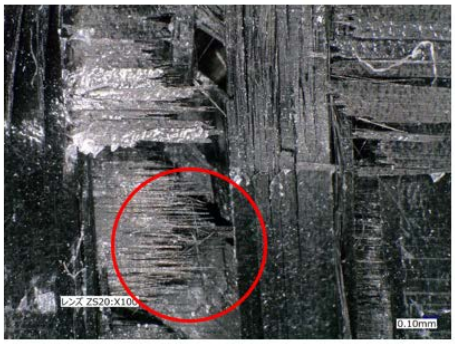


プレス成形品

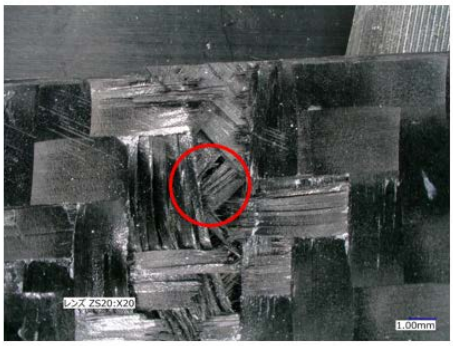


→ 標準品はプレス成形品の約８倍の試験力を耐えた.

破断部観察　標準品



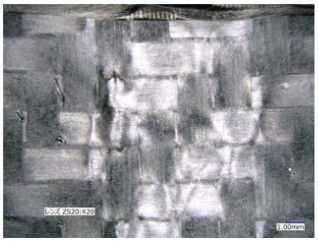
表面層の引張方向の繊維の破断



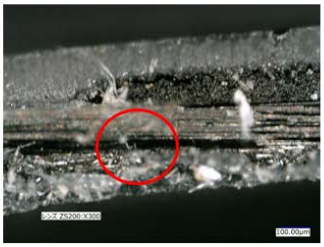
±45°方向に配向された中間層のき裂

表面層は中間層から剥離している

破断部観察　プレス成形品



表面のウレタン層は破断していない.



左図より表面層のウレタンは破断しておらず，中間層は引張方向の繊維材のみ破断している．右図の破断部周辺でも剥離が確認できる.

【結果のまとめ】

・強度試験の結果、標準品はプレス成形品の約８倍の強度を示した。

・破断部観察の結果、標準品は表面層が中間層から剥離し表面層から破壊が起こり、プレス成形品はウレタンの伸縮性が高いため中間層から破壊が起こるという、破壊プロセスを明らかにした。

【5-3】破壊挙動抑制の変数最適化の検証

（1）目的：

各共同体企業から提供を受けた炭素繊維強化樹脂や他樹脂のサンプルにつき破壊実験を行ない、炭素繊維強化樹脂の力学的特性および破壊挙動を把握する。

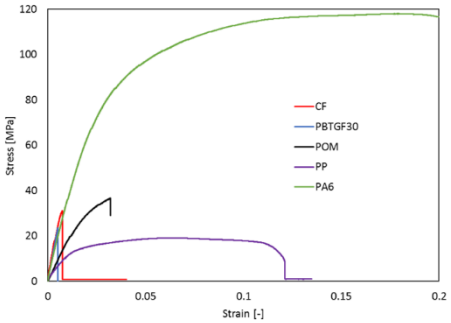
（2）実施内容：

炭素繊維複合材料だけではなく、PBT とガラス繊維の複合材料、POM、PP、PA6 を用いて射出成形したオイルパン切断サンプルに対して、静的な引張試験を実施し、力学的を評価した。応力は荷重値と代表断面積から算出した値である。実際の試験片は、サンプルは同一の断面形状ではなく、凹凸部が含まれるため、複雑な応力状態になっていると考えられため、強度評価値は相対値であることに注意する。

使用試験片

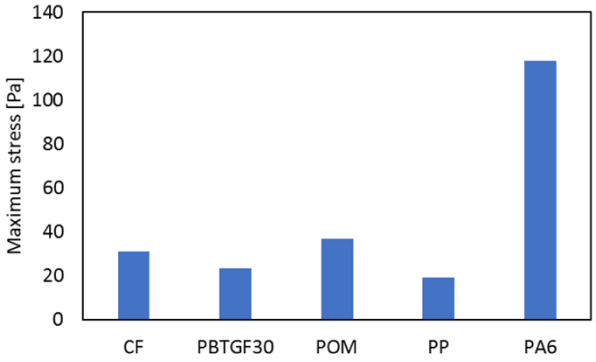
試験片	写真
CF	
PBTGF30	
POM	
PP	
PA6	

応力-歪線図

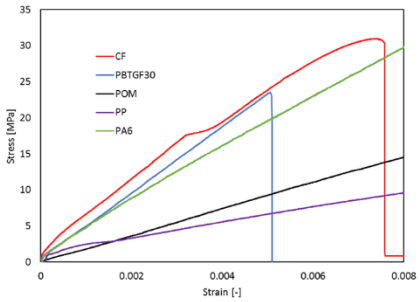


PA6材が最も応力が大きい

最大応力



応力-歪線図（拡大）



ひずみが0.008まではCF材が最も応力が大きい

PA6＞POM＞CF＞PBTGF30＞PP

使用優先順位

ひずみ	優先順位
0～0.00509	CF＞PBTGF30＞PA6＞POM＞PP
0.00509～0.00758	CF＞PA6＞POM＞PP
0.00758～0.03190	PA6＞POM＞PP
0.03190～	PA6＞PP

PP

PA6

CF

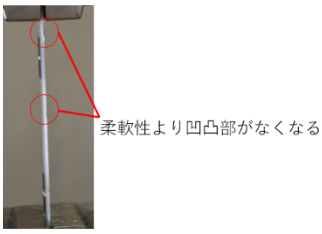
PBTGF30

POM

考察

最大応力：PA6＞CF

PA 6
強靭性、耐衝撃性、柔軟性



CF
比強度・比剛性に優れる

・CF材は凹凸部が残り応力集中が起きやすいと考えられる

・CF材の母材の強度不足も要因と考えられる

（3）結果：

・最大応力は、PA6＞POM＞CF＞PBTGF30＞PP の順である。

・ひずみが 0.008 までは CF 材が最も応力が大きい。CF は比強度、比剛性に優れるが、凹凸部が残り、応力集中が起こりやすい。CF の母材（PP）の強度不足も要因と考えられる。

・PA6 は強靭性、耐衝撃性、柔軟性に優れる。

・ただし、試験片はオイルパンの実際の成形品から切り出しているため、統計的なデータが取れるほどの試験は難しく、力学的特性のばらつきなどについては考慮されていないことに注意する必要がある。

【5-4】破壊挙動予測モデルの確立

（1）目的：

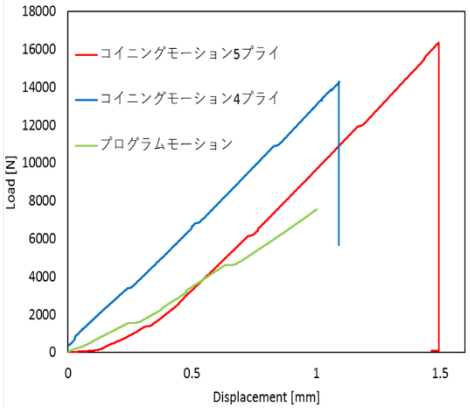
CFRP のプレートの破壊挙動を予測するため、トルク工業(株)から提供された CFRP プレートのサンプルにつき引張強度試験を実施する。

（2）実施内容：

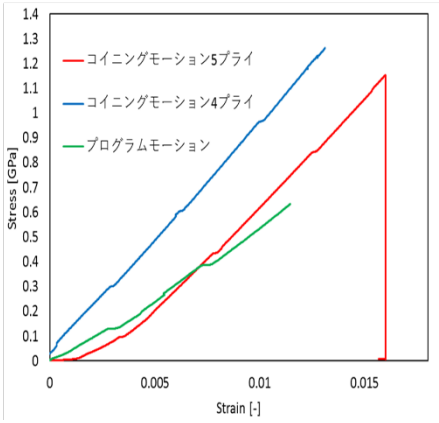
1）引張試験：

CFRP プレートを用いて引張試験を実施する。試験片はプログラムモーション 4 プライ、コイニングモーション 4 プライ、コイニングモーション 5 プライに対して、静的な引張試験を実施し、力学的を評価した。応力は荷重値と代表断面積から算出した値である。

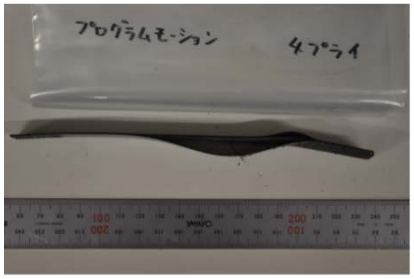
荷重-変位線図

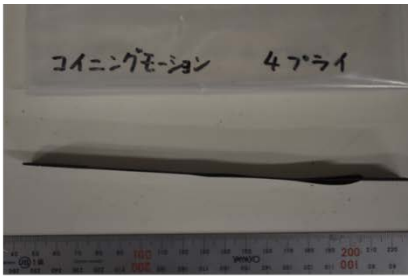


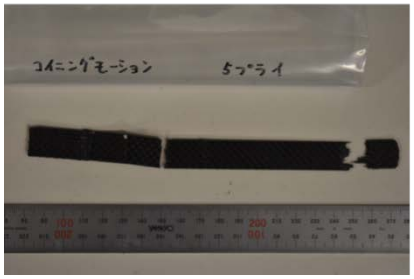
応力-ひずみ線図



2）破壊形態：





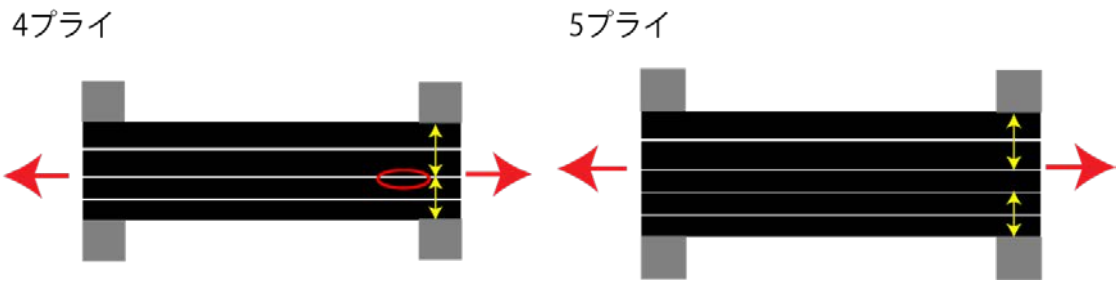


（3）結果：

・最大荷重は、コイニングモーション 5 プライ＞コイニングモーション 4 プライ＞プログラムモーション 4 プライの順である。これは、成形方法とプライ数に依存するものである。

・最大応力は、コイニングモーション 4 プライ＞コイニングモーション 5 プライ＞プログラムモーション 4 プライの順である。これは、プライ数が多いため、成形に必要な圧力が増え、圧力不足のため最大応力が減少した可能性がある。

・破壊形態は、5 プライでは剥離ではないが 4 プライの場合は剥離という違いがある。これは、上層と下層の厚さの違いによるものだと考えられる。4 プライの場合上層と下層の厚さの差から中間部で剥離が生じるが、5 プライの場合上層と下層の厚さの差を中央層で補うため剥離しにくいと考えられる。したがって、破壊挙動を予測するためには、破壊挙動予測モデルの変数としてプライ数を導入し、プライ数が偶数の場合には剥離破壊モードを表現する必要があることがわかった。



【補足．ソフトカーボンシートによるバッグの試作】

ソフトトロリーケースの試作により、ソフトカーボンでも、ほぼ従来の生地同様に加工が可能であることが確認できた。そこで、ソフトトロリーケース製作における課題を踏まえ、ビジネスバッグ（男性用）を試作した。

（１）目的：

①ソフトカーボンシートの裏面に PE 発泡シートを貼り合せ、

・縫製時及び返し（縫製後に内外をひっくり返す）後のシワ発生の抑制効果確認。

・基材カーボンの織ムラによる透けの低減確認。

②需要がより期待できるビジネスバッグ製作による、販売会社（エース㈱）へのプレゼンテーション。

（２）実施内容：

【試作対象機種】ace.(GENE)デュラテクトの２品番

【ソフトカーボンによる試作品】

・本体重量　1,130g
　既製品より 100g重量 UP
・想定売価　￥132,000～

・本体重量　1,220g
　既製品より 100g重量 UP
・想定売価　￥162,000～

【試作結果】

・PE 発泡シート貼り合せにより、縫製時及び返しによるシワは気にならないレベルにまで軽減された。織ムラによる透け感も低減した。

・いずれのタイプも本体重量が既製品より 100ｇ重くなっており、ソフトカーボン採用による軽量効果は望めない。（PE 発泡シート貼り合せによる重量 UP も影響している）

・カーボン付属の使い方によってはスタイリッシュな見え方になりそうではあり、可能性はある。

・ソフトカーボンを使うことによる 大幅なコスト増を売価には反映しづらい。

・感覚的な価値だけでなく、機能性などの付加価値が セットにならないと厳しい。

・実際には販売見込数や市場のニーズによって調整を行うが、原価の４倍を想定売価として見込むと非常に高価である。

・各２を製作し、各１をエース（株）へサンプル提出し、商品としての評価を求めているところである。

⇒高価なため、「カーボン」という以外に「機能的な新規性・優位性」を持つ付加価値が求められる。

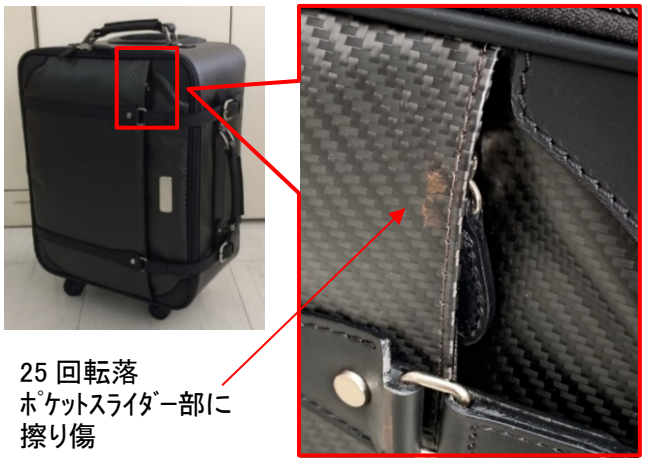
【耐久性評価】

・ソフトカーボンの耐久性を評価すべく、サンプルトロリーケースにて強度（転落）試験を実施した。

・内面に突起の或る１辺５フィートの六角回転ドラムに、12ｋｇの仮想荷物を収納したケースを入れ、ドラムを４と 1/6 回転（25 転落）させ、ケース（特にソフトカーボン材）の外観の変化を目視確認する。

・通常は 25 回転落で終了するが、これを４セット実施した。

・試験の結果は、コーナー部等に擦り傷やひび割れが発生した。（下図詳細写真参照）



25 回転落
ﾎﾟｹｯﾄｽﾗｲﾀﾞｰ部に
擦り傷

100 回転落
ｺｰﾅｰ表面ひび割れ
50 回転落
上部ｺｰﾅｰ部に傷

（３）結果のまとめ：

・現段階では、高価なため「カーボン」という以外の「機能的な付加価値」がなければ、商品化につなげるのは難しい状況である。

・耐久性の面でも擦り傷以外に表面のひび割れがあり、物性の評価・検証と改善が必要で、商品化には、引き続き検討を継続することが重要である。

（４）今後の展開：

・大きくはないがニーズは見込めるので、想定売価が（￥130,000～￥160,000 と）非常に高く、販売チャネルを慎重に見極める必要がある。

・ソフトカーボンの品質（スペック）確保と安定した調達が可能でなければ、計画的な販売に向けた対応は困難である。

・バッグとしての品質面（外観・耐久性等）の評価が必要となる。

最終章　全体総括

【研究開発成果と課題】

CF 材は、軽量化及び強度の点より、航空機、列車及び一部自動車部品等で使用されているが、より身近な、日常品市場で使用し、受注拡大を目的として、研究開発を行なってきた成果として、未だ市場に出されていない、ソフトカーボンによるキャリーケース(ピギーケース)、ビジネスバックを製作し、また、スーツケースに使用するキャスターも全部品を CF 材としたもの、自動車関連としては、オイルパンを、目で見える形として試作し公開したことで、広く、CF 材の使用の可能性を PR することができた。

課題としては、材料が高価なため、製品コストが高くなること、及び現在のメリットとしては金属の代用としての軽量化であり、樹脂材と比べてメリットが余り無いことが普及を妨げる要因となっていることが明確となった。この点を考慮し、他材との複合による、軽量化及び機能の向上、部品デザインの自由度向上等、が図れる加工方法及び部品設計を展開し、販路開拓につなげていく。

（１）ソフトカーボンのプレス成形：

感性素材としてのソフトカーボンをプレス成形する場合の最も重要な評価軸は、外観と手触りである。欠陥状態としては、ボイド、目崩れ、光沢ムラ、表面のざらつきなどの手触り、等がある。ソフトカーボンの成形手法としては、広い面積に対して均一な加工（圧力、温度）を施すことができるオートクレーブ製法が最も適しているが、オートクレーブ設備は非常に高価であり、また加工に数時間を要するため価格競争力に乏しい。プレス成形により厚さ１mmあたり 1 分程度で成形でき、かつオートクレーブ成形品に比して外観上も劣ることのないものができれば、製造原価を一段と低減することができ、感性価値のある素材としての採用も加速する。そのような背景の中、外観品質を損ねることなく成形時間を短縮（ハイサイクル）するもので、導入した設備および蓄積した知見を活用して試作を重ねた結果、加熱、加圧、ストローク、時間の 4 要素と、その相互の関連を確認していくことで、予熱・加熱・加圧・冷却の各工程時間を最適化し厚さ 0.47mm を 30sec での成形を実現でき、厚さ１mmあたり６０sec の当初目標を概ね達成することができた。

ソフトカーボンのみで製作した、網目間の透け、縫製の際のしわ等の不具合点は、裏面に PE 発泡シートを貼り合せることで、これらの問題を解決し、良品の試作製作ができた。ただし、この分、材料が重くなり、既存のカバン重量と比較して、逆に重くなる結果となった。

現行では、販売価格が　原価の 4～5 倍となるため、本材の使用に当たっては、CF シート材の軽量化及び低価格化が新たな課題として発生している。

（2）キャスターの射出成形：

熱可塑性炭素繊維樹脂において、鋭角部は、マトリクス材よりフィラーが浮き出ることで、樹脂の流動性が阻害され、未充填部が発生する。この不具合は、成形条件では解決できないため、形状の提言を行い、不具合の発生を防ぐこととした。

結果としては、PP/CF(30%)材にて、角度を 50° 以上とすることで、また、どうしても、50° 内の鋭角を付けなくてはならない場合、R0.5 以上を取ることで、未充填部を回避することができ、良好な形状を出すことが可能となる。

ただし、機能面に関してはまだ課題があり、とくに繊維の脱落の問題などの新たな課題も見つかったため、現段階では、本部材の使用は、極限定的な用途に限られる。

（3）自動車部品オイルパンの射出成形：

熱可塑性炭素繊維樹脂部品の日常品市場から自動車関連への市場拡大を目的に、軽量化を必要とする部品類、とりわけケース類に着目し、熱可塑性炭素繊維樹脂への展開の可能性を調査した。結果としては、一般的な射出成型品と同様の製品を製作することができた。さらに、適正な射出成形条件(ハイサイクルを含む)、ゲート位置等、商品設計の際に考慮する点への提言を行うことができた。

しかしながら、実際の使用に際しては、炭素繊維の脱落が見られることから、オイルパンでは、管の詰り、油に交じって CF フィラーが摺動部、または回転部に入ることで、摩耗が大となる不具合の発生が懸念され、使用は困難と判定する。

したがって、用途に応じた、マトリクス材(母材)の選定及び、成形後の後処理(コーティング、塗装等)等の検討が必要となった。

（4）プレス賦形予測モデル：

含浸成形条件によって、材料の板厚を始めとした成形品質が大きな影響を受けることを確認した。また、気泡と板厚の不均一分布が確認された。これは、積層した繊維材のヨレやシワによって、繊維材が乱れており、生じた空間に樹脂が溜まり厚さが変化した可能性がある。したがって、繊維体積含有率や気泡の品質を保証するためには、繊維材の織り構造の乱れを予測・制御することが、重要な技術となることを明らかにした。

さらに、ドライファブリックの機械的挙動を再現する方法として「Bias-extension test」を行ない、理論では再現できない繊維材のロック現象をシミュレーションで再現した。また、120mm ×120mm の平織り、綾織りの繊維材モデルで、半球状のプレスシミュレーションを実施した。各種条件でシミュレーションとプレス実験の結果を比較し、外形および各位置でのせん断角度の傾向が一致していることにより、繊維材賦形時の挙動をシミュレーションできることを確認した。

（5）破壊プロセス分析：

トルク精密工業（株）から提供された各種成形サンプルの力学的評価を行い、CF が比強度、比剛性に優れるが、凹凸部が残り、応力集中が起こりやすいことを明らかにした。ただし、試験片はオイルパンの実際の成形品から切り出しているため、統計的なデータが取れるほどの試験は難しく、力学的特性のばらつきなどについては考慮されていないことに注意する必要がある。

また、トルク工業(株)から提供された CFRP プレート破壊試験の結果から、破壊挙動を予測す

るためには、破壊挙動予測モデルの変数としてプライ数を導入し、プライ数が偶数の場合には剥離破壊モードを表現する必要があることがわかった。

【研究開発後の事業化展開】

（1）ソフトカーボン製バック

ピギーケース、ビジネスバッグのサンプル製作を行い、エースラゲージ㈱にて店頭展示し、販売の可能性を調査した。初期の試作品はソフトカーボンのみで製作したため、網目間の透け、縫製の際のしわの発生等、外観の不適が発生し、価格に対して、品質が追い付いていない評価であったが、今回は、ソフトカーボンシートの裏面に PE 発泡シートを貼り合せ、これらの諸問題を解決したことで、商品の価値が高まり、高評価であった。

ただし、現在では、未だ材料価格が高額で、高価な商品とならざるを得ないため、コスト面での対応の可否より商品化が左右される。一般大衆向けでは無く、価格競合の無い、特殊用途での販路の可能性は大きい。

試作キャリーケース

（2）CF ペレット射出成形品(キャスター部品)

熱可塑性炭素繊維樹脂は、摺動性が悪く、また、耐熱性、機械的強度も汎用樹脂と比べ材料価格高に比例した利点が得られなかったことから、本材の使用は構造体等の特定の使用に限定されると推測する。また、繊維の脱落による、安全性の点から、直接、手が振れる部位への使用は避けた方が良いため、本材の単体での使用は避け、インモールド成形等、他材料で覆うことで、これらの問題を解決できることから、複合材としての商品化の可能性は出て来ると思われる。本事業のアドバイザーにも引き続き依頼し、ユーザーニーズを掘り出し販路開拓をする。

（3）CF ペレット射出成形自動車部品

（2）と同様、熱可塑性炭素繊維樹脂単体での用途としては、機能部品には適さず、構造体等の使用に限定されるが、この場合、材料価格に対する利点が少ないため、このままでの市場への販売は極小規模である。他の材料との複合化により、ハイブリットとした部品として、ユーザーニーズを掘り出し販路開拓をする。

以上